

DIALOG(R)File 347:JAPIO
(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05607761 **Image available**

ZOOM OPTICAL SYSTEM AND IMAGE PICKUP DEVICE USING SAME

PUB. NO.: 09-222561 [JP 9222561 A]
PUBLISHED: August 26, 1997 (19970826)
INVENTOR(s): AKIYAMA KENJI
APPLICANT(s): CANON INC [000100] (A Japanese Company or Corporation), JP
 (Japan)
APPL. NO.: 08-054276 [JP 9654276]
FILED: February 15, 1996 (19960215)
INTL CLASS: [6] G02B-015/14; G02B-017/08
JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment)
JAPIO KEYWORD: R002 (LASERS); R098 (ELECTRONIC MATERIALS -- Charge Transfer
 Elements, CCD & BBD)

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To make the zoom optical system small-sized on the whole by zooming the optical system by adequately shifting the relative positions of at least two optical elements among plural optical elements which are respectively specific.

SOLUTION: A 1st optical element B1 has a 2nd surface (refractive incidence surface) R2 and a 3rd surfaces R3 - a 7th surface R7 as internal reflecting surfaces and an 8th surface (refractive projection surface) R8 formed on one block. A 2nd optical element B2, on the other hand, consists of plural lenses composed of a 9th refractive surface R9 - an 18th refractive surface R18 which are coaxial. Further, a 3rd optical element B3 consists of plural lenses composed of a 19th refractive surface R19 - a 28th refractive surface R28 which are coaxial. Namely, this is a so-called three-group zoom lens; and a stop R1 and the 1st optical element constitute a 1st group, the 2nd optical element B2 constitute a 2nd group, and the 3rd optical element B3 constitutes a 3rd group. Here, the 2nd group and 3rd group form a power varying group which vary the power by shifting in relative position.

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-222561

(43) 公開日 平成9年(1997) 8月26日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 15/14
17/08

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 15/14
17/08

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願平8-54276

(22) 出願日 平成8年(1996) 2月15日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 秋山 健志

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

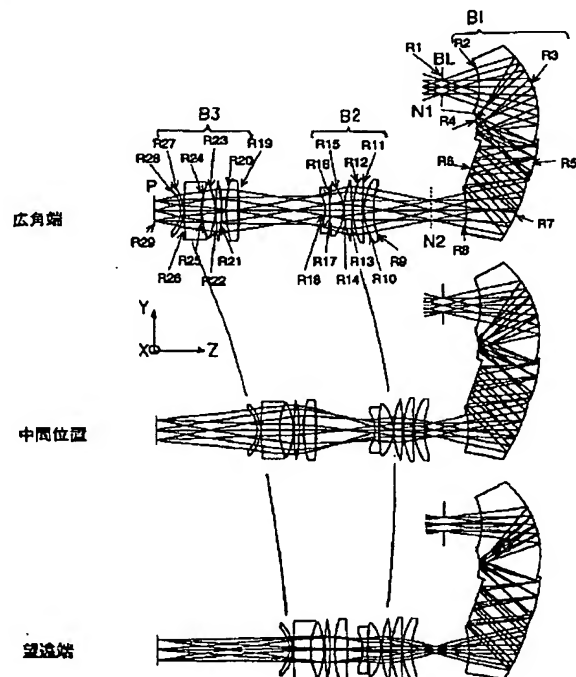
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 ズーム光学系及びそれを用いた撮像装置

(57) 【要約】

【課題】小型で、反射面の配置精度（組立精度）のバラツキ及び狂いが少なく、各光学素子の有効径が小さく、複数の反射面によって光学系内の光束をけられること無く所望の形状に屈曲し、所定方向の全長を短縮するズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を得ること。

【解決手段】 透明体の表面に2つの屈折面と複数の内面反射面を形成した光学素子、又は／及び相互に偏心した複数の表面鏡を一体的に形成し、入射光束が該複数の表面鏡の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子と、共軸の屈折面で構成された光学素子とを複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることにより変倍を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成し、光束が1つの屈折面から該透明体の内部へ入射し、該複数の反射面で反射を繰り返して別の屈折面から射出するように構成された光学素子、又は／及び相互に偏心した複数の表面鏡を一体的に形成し、入射光束が該複数の表面鏡の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子と、共軸の屈折面で構成された光学素子とを複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることにより変倍を行うことを特徴とするズーム光学系。

【請求項2】 前記ズーム光学系の光束入射側又は最初の光束入射面の近傍に絞りを設けることを特徴とする請求項1のズーム光学系。

【請求項3】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と出射する基準軸が平行であることを特徴とする請求項1又は2のズーム光学系。

【請求項4】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は1つの移動平面上で互いに平行に移動することを特徴とする請求項3のズーム光学系。

【請求項5】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は夫々入射する基準軸と出射する基準軸の方向が同方向を向いていることを特徴とする請求項3又は4のズーム光学系。

【請求項6】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の1つは入射する基準軸と出射する基準軸の方向が同方向を向いており、もう1つの光学素子は入射する基準軸と出射する基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴とする請求項3又は4のズーム光学系。

【請求項7】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は夫々入射する基準軸と出射する基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴とする請求項3又は4のズーム光学系。

【請求項8】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子のうちの1つを移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項9】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子を移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項10】 前記ズーム光学系はその光路の中で少なくとも1回物体像を中間結像することを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項11】 前記複数の反射面の内、曲面の反射面はすべてアナモフィック面の形状であることを特徴とす

る請求項1～10のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項12】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の基準軸がすべて1つの平面上にあることを特徴とする請求項1～11のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項13】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子の基準軸の少なくとも一部が前記平面上にあることを特徴とする請求項12のズーム光学系。

【請求項14】 前記複数の光学素子のうちの少なくとも1つの光学素子は基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子が移動する移動平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項15】 請求項1～14のいずれか1項に記載のズーム光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はズーム光学系及びそれを有した撮像装置に関し、特に複数の反射面を有する光学素子と屈折面のみで構成される光学素子とを複数個用い、そのうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズーミング（変倍）を行うものであり、ビデオカメラやスチールビデオカメラ、そして複写機等に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】ズーム撮像光学系として、従来より知られているものとして、屈折レンズのみで構成した光学系がある。これらは、球面あるいは回転対称非球面の屈折レンズが、光軸に対して回転対称に配置されている。

【0003】また、従来より凹面鏡や凸面鏡等の反射面を利用した撮影光学系が種々と提案されているし、反射系と屈折系とを両方使用した光学系もカタディオプトリック系としてよく知られている。

【0004】図23は1つの凹面鏡と1つの凸面鏡より成る所謂ミラー光学系の概略図である。

【0005】同図のミラー光学系において、物体からの物体光束104は、凹面鏡101にて反射され、収束されつつ物体側に向かい、凸面鏡102にて反射された後、レンズ110で屈折され、像面103に結像する。

【0006】このミラー光学系は、所謂カセグレン式反射望遠鏡の構成を基本としており、屈折レンズで構成されるレンズ全長の長い望遠レンズ系の光路を相対する二つの反射ミラーを用いて折りたたむ事により、光学系全長を短縮することを目的としたものである。

【0007】また、望遠鏡を構成する対物レンズ系においても、同様な理由から、カセグレン式の他に、複数の

反射ミラーを用いて光学系の全長を短縮する形式が多数知られている。

【0008】この様に、従来よりレンズ全長の長い撮影レンズのレンズの代わりに反射ミラーを用いる事により、効率よく光路を折りたたんで、コンパクトなミラー光学系を得ている。

【0009】しかしながら、一般的にカセグレン式反射望遠鏡等のミラー光学系においては、凸面鏡102により物体光束の一部がケラレと言う問題点がある。この問題は物体光束104の通過領域中に凸面鏡102がある事に起因するものである。

【0010】この問題点を解決する為に、反射ミラーを偏心させて使用して、物体光束104の通過領域を光学系の他の部分が遮蔽することを避ける、即ち光束の主光線を光軸105から離すミラー光学系も提案されている。

【0011】図24は米国特許3,674,334号明細書に開示されているミラー光学系の概略図であり、光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いることによって上記のケラレの問題を解決している。

【0012】同図のミラー光学系は光束の通過順に凹面鏡111、凸面鏡113そして凹面鏡112があるが、それらはそれぞれ図中二点破線で示す様に、もともと光軸114に対して回転対称な反射ミラーである。このうち凹面鏡111は光軸114に対して紙面上側のみ、凸面鏡113は光軸114に対して紙面下側のみ、凹面鏡112は光軸114に対して紙面下側のみを使用する事により、物体光束115の主光線116を光軸114から離し、物体光束115のケラレを無くした光学系を構成している。

【0013】図25は米国特許5,063,586号明細書に開示されているミラー光学系の概略図である。同図のミラー光学系は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させて物体光束の主光線を光軸から離して上記の問題を解決している。

【0014】同図において、被写体面121の垂直軸を光軸127と定義した時に、光束の通過順に凸面鏡122・凹面鏡123・凸面鏡124そして凹面鏡125のそれぞれの反射面の中心座標及び中心軸（その反射面の中心とその面の曲率中心とを結んだ軸）122a, 123a, 124a, 125aは、光軸127に対して偏心している。同図ではこのときの偏心量と各面の曲率半径を適切に設定することにより、物体光束128の各反射ミラーによるケラレを防止して、物体像を効率よく結像面126に結像させている。

【0015】その他米国特許4,737,021号明細書や米国特許4,265,510号明細書にも光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いてケラレを避ける構成、或は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させてケラレを避ける構成が開示されている。

【0016】ところで、反射鏡と屈折レンズとを両方使用したカタディオプトリック光学系で、変倍機能を有したものととして例えば米国特許4,477,156号明細書、米国

特許4,571,036号明細書に開示されているディープスカイ望遠鏡がある。これは、主鏡に放物面反射鏡を用い、エルフレ接眼鏡を使って倍率を可変にしたものである。

【0017】また、上記ミラー光学系を構成する複数の反射面を相対的に移動させることにより、撮影光学系の結像倍率（焦点距離）を変化させるズーミング技術も知られている。

【0018】例えば米国特許4,812,030号明細書においては、図23に示すカセグレン式反射望遠鏡の構成において、凹面鏡101から凸面鏡102までの間隔と凸面鏡102から像面103までの間隔を相対的に変化させることにより撮影光学系の変倍を行う技術が開示されている。

【0019】図26は同公報に開示されている別の実施形態である。同図において、物体からの物体光束138は第一凹面鏡131に入射してこの面で反射され収束光束となって物体側に向かい第一凸面鏡132に入射し、ここで結像面側へ反射され略平行な光束となって第二凸面鏡134に入射し、この面で反射されて発散光束となって第二凹面鏡135に入射し、ここで反射されて収束光束となり像面137上に結像する。この構成において第一凹面鏡131と第一凸面鏡132間の間隔を変化させるとともに、第二凸面鏡134と第二凹面鏡135間の間隔を変化させてズーミングを行い全系のミラー光学系の焦点距離を変化させている。

【0020】また、米国特許4,993,818号明細書においては、図23に示すカセグレン式反射望遠鏡にて結像した像を後段に設けた別のミラー光学系にて二次結像し、この二次結像用のミラー光学系の結像倍率を変化させることにより撮影系全体の変倍を行っている。

【0021】これらの反射型の撮影光学系は、構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てることが必要であった。特に、反射ミラーの相対位置精度が厳しい為、各反射ミラーの位置及び角度の調整が必須であった。

【0022】この問題を解決する一つの方法として、例えばミラー系を一つのブロック化することにより、組立時に生じる光学部品の組み込み誤差を回避する方法が提案されている。

【0023】従来、多数の反射面が一つのブロックになっているものとして、例えばファインダー系等に使用されるペンタゴナルダハプリズムやポロプリズム等の光学プリズムがある。

【0024】これらのプリズムは、複数の反射面が一体成形されている為に、各反射面の相対的な位置関係は精度良く作られており、反射面相互の位置調整は不要となる。但し、これらのプリズムの主な機能は、光線の進行方向を変化させることで像の反転を行うものであり、各反射面は平面で構成されている。

【0025】これに対して、プリズムの反射面に曲率を持たせた光学系も知られている。

【0026】図27は米国特許4,775,217号明細書に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系は外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像を風景とオーバーラップして観察する光学系である。

【0027】この観察光学系では、情報表示体141の表示画像から射出する表示光束145は面142にて反射して物体側に向かい、凹面より成るハーフミラー面143に入射する。そしてこのハーフミラー面143にて反射した後、表示光束145は凹面143の有する屈折力によりほぼ平行な光束となり、面142を屈折透過した後、表示画像の拡大虚像を形成するとともに、観察者の瞳144に入射して表示画像を観察者に認識させている。

【0028】一方、物体からの物体光束146は反射面142とほぼ平行な面147に入射し、屈折して凹面のハーフミラー面143に至る。凹面143には半透過膜が蒸着されており、物体光束146の一部は凹面143を透過し、面142を屈折透過後、観察者の瞳144に入射する。これにより観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0029】図28は特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系も外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像をオーバーラップして観察する光学系である。

【0030】この観察光学系では、情報表示体150から出射した表示光束154は、プリズムPaを構成する平面157を透過しプリズムPaに入り放物面反射面151に入射する。表示光束154はこの反射面151にて反射されて収束光束となり焦点面156に結像する。このとき反射面151で反射された表示光束154は、プリズムPaを構成する2つの平行な平面157と平面158との間を全反射しながら焦点面156に到達しており、これによって光学系全体の薄型化を達成している。

【0031】次に焦点面156から発散光として出射した表示光束154は、平面157と平面158の間を全反射しながら放物面より成るハーフミラー152に入射し、このハーフミラー面152で反射されると同時にその屈折力によって表示画像の拡大虚像を形成すると共にほぼ平行な光束となり、面157を透過して観察者の瞳153に入射し、これにより表示画像を観察者に認識させている。

【0032】一方、外界からの物体光束155はプリズムPbを構成する面158bを透過し、放物面より成るハーフミラー152を透過し、面157を透過して観察者の瞳153に入射する。観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0033】さらに、プリズムの反射面に光学素子を用いた例として、例えば特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等が開示されている光ピックアップ用の光学ヘッドがある。これらは半導体レーザーからの光をフレネル面やホログラム面にて反射させた後、ディスク面

に結像し、ディスクからの反射光をディテクターに導いている。

【0034】

【発明が解決しようとする課題】従来の屈折光学素子のみの光学系は、絞りが光学系の内部に配置され、しかも入射瞳が光学系の奥深くにある場合が多く、絞りから見ても物体側に位置する入射面までの間隔が大きいほど、入射面の光線有効径は大きくなり、しかも画角が大きくなると共に更に大きくなる問題点があった。

【0035】又、前記米国特許3,674,334号明細書、米国特許5,063,586号明細書、米国特許4,265,510号明細書に開示されている偏心ミラーを有するミラー光学系は、いずれも各反射ミラーを異なる偏心量にて配置しており、各反射ミラーの取り付け構造が非常に煩雑となり、また取り付け精度を確保する事が非常に難しいものとなっている。

【0036】又、米国特許4,812,030号明細書、米国特許4,993,818号明細書に開示されている変倍機能を有する撮影光学系は、いずれも反射ミラーや結像レンズなどの構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てる必要があった。

【0037】また特に反射ミラーの相対位置精度が厳しくなる為、各反射ミラーの位置及び角度を精密に調整することが必要であった。

【0038】又従来の反射型の撮影光学系は、光学系全長が長く画角の小さい所謂望遠タイプのレンズ系に適した構成となっている。そして、標準レンズの画角から広角レンズの画角までを必要とする撮影光学系を得る場合には収差補正上必要とされる反射面数が多くなる為、更に高い部品精度、高い組立精度が必要となり、コスト或は全体が大型化する傾向があった。

【0039】又、前記米国特許4,775,217号明細書、特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系は、いずれも観察者の瞳から離れて配置されている情報表示体に表示されている表示画像を効率良く観察者の瞳に伝達する為の瞳結像作用と光線の進行方向を変化させる事を主眼としており、曲率を持った反射面にて積極的な収差補正を行う技術については直接的に開示されていない。

【0040】又、特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等が開示されている光ピックアップ用の光学系は、いずれも検知光学系の使用に限定されており、撮影光学系、特にCCD等の面積型の撮像素子を用いた撮像装置に対する結像性能を満足するものではなかった。

【0041】本発明は、複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸の屈折面のみからなる光学素子とを複数用い、該複数の光学素子のうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を適切に変化させてズームを行うことにより、ズーム光学系全体の小型化を図ると共に、性能へ大きく影響する反射面の配置精度

(組立精度)のバラツキ及び狂いの少ないズーム光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0042】更に、絞りをズーム光学系の物体側若しくは最初の光束入射面の近傍に配置すると共に、該ズーム光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成をとることにより、広画角のズーム光学系でありながら、各光学素子の有効径を縮小し、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することにより、光学系内の光束がけられること無く所望の形状に屈曲し、ズーム光学系の所定方向の全長を短縮するズーム光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0043】

【課題を解決するための手段】本発明のズーム光学系は、

(1-1) 透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成し、光束が1つの屈折面から該透明体の内部へ入射し、該複数の反射面で反射を繰り返して別の屈折面から射出するように構成された光学素子、又は/及び相互に偏心した複数の表面鏡を一体的に形成し、入射光束が該複数の表面鏡の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子と、共軸の屈折面で構成された光学素子とを複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることにより変倍を行うこと等を特徴としている。

【0044】特に、

(1-1-1) 前記ズーム光学系の光束入射側又は最初の光束入射面の近傍に絞りを設ける。

(1-1-2) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と出射する基準軸が平行である。

(1-1-3) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は1つの移動平面上で互いに平行に移動する。

(1-1-4) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は夫々入射する基準軸と出射する基準軸の方向が同方向を向いている。

(1-1-5) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の1つは入射する基準軸と出射する基準軸の方向が同方向を向いており、もう1つの光学素子は入射する基準軸と出射する基準軸の方向が反対方向を向いている。

(1-1-6) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は夫々入射する基準軸と出射する基準軸の方向が反対方向を向いている。

(1-1-7) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子のうちの1つを移動してフォーカシングする。

(1-1-8) 前記相対的位置を変化させる少なくとも

も2つの光学素子以外の光学素子を移動してフォーカシングする。

(1-1-9) 前記ズーム光学系はその光路の中で少なくとも1回物体像を中間結像する。

(1-1-10) 前記複数の反射面の内、曲面の反射面はすべてアナモフィック面の形状である。

(1-1-11) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の基準軸がすべて1つの平面上にある。

(1-1-12) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子の基準軸の少なくとも一部が前記平面上にある。

(1-1-13) 前記複数の光学素子のうちの少なくとも1つの光学素子は基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子が移動する移動平面に対して傾いている反射面を有している。こと等を特徴としている。

【0045】又、本発明の撮像装置は、

(1-2) (1-1)～(1-1-13)のいずれか1項に記載のズーム光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像すること等を特徴としている。

【0046】

【発明の実施の形態】実施形態の説明に入る前に、実施形態の構成諸元の表し方及び実施形態全体の共通事項について説明する。

【0047】図5は本発明の光学系の構成データを定義する座標系の説明図である。本発明の実施形態では物体側から像面に進む1つの光線(図5中の一点鎖線で示すもので基準軸光線と呼ぶ)に沿ってi番目の面を第i面とする。

【0048】図5において第1面R1は絞り、第2面R2は第1面と共軸な屈折面、第3面R3は第2面R2に対してチルトされた反射面、第4面R4、第5面R5は各々の前面に対してシフト、チルトされた反射面、第6面R6は第5面R5に対してシフト、チルトされた屈折面である。第2面R2から第6面R6までの各々の面はガラス、プラスチック等の媒質で構成される一つの光学素子上に構成されており、図5中では第1光学素子B1としている。

【0049】従って、図5の構成では不図示の物体面から第2面R2までの媒質は空気、第2面R2から第6面R6まではある共通の媒質、第6面R6から不図示の第7面R7までの媒質は空気で構成している。

【0050】本発明の光学系は偏心光学系であるため光学系を構成する各面は共通の光軸を持っていない。そこで、本発明の実施形態においては先ず第1面の光線有効径の中心を原点とする絶対座標系を設定する。

【0051】そして、本発明の実施形態においては、第1面の光線有効径の中心点を原点とすると共に、原点と最終結像面の中心とを通る光線(基準軸光線)の経路を光学系の基準軸と定義している。さらに、本実施形態中

の基準軸は方向（向き）を持っている。その方向は基準軸光線が結像に際して進行する方向である。

【0052】本発明の実施形態においては、光学系の基準となる基準軸を上記の様に設定したが、光学系の基準となる軸の決め方は光学設計上、収差の取り纏め上、若しくは光学系を構成する各面形状を表現する上で都合の良い軸を採用すれば良い。しかし、一般的には像面の中心と、絞り又は入射瞳又は出射瞳又は光学系の第1面の中心若しくは最終面の中心のいずれかを通る光線の経路を光学系の基準となる基準軸に設定する。

【0053】つまり、本発明の実施形態においては、基準軸は第1面、即ち絞り面の光線有効径の中心点を通り、最終結像面の中心へ至る光線（基準軸光線）が各屈折面及び反射面によって屈折・反射する経路を基準軸に設定している。各面の順番は基準軸光線が屈折・反射を受ける順番に設定している。

【0054】従って基準軸は設定された各面の順番に沿って屈折若しくは反射の法則に従ってその方向を変化させつつ、最終的に像面の中心に到達する。

【0055】本発明の各実施形態の光学系を構成するチルト面は基本的にすべてが同一面内でチルトしている。そこで、絶対座標系の各軸を以下のように定める。

【0056】Z軸：原点を通り第2面R2に向かう基準軸
Y軸：原点を通りチルト面内（図5の紙面内）でZ軸に対して反時計回りに90°をなす直線
X軸：原点を通りZ、Y各軸に垂直な直線（図5の紙面に垂直な直線）

又、光学系を構成する第i面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第i面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解し易い為、本発明の構成データを表示する実施形態では第i面の面形状をローカル座標系で表わす。

【0057】また、第i面のYZ面内でのチルト角は絶対座標系のZ軸に対して反時計回り方向を正とした角度 θ_i （単位°）で表す。よって、本発明の実施形態では各面のローカル座標の原点は図5中のYZ平面上にある。またXZおよびXY面内での面の偏心はない。さらに、第i面のローカル座標(x,y,z)のy,z軸は絶対座標系(X,Y,Z)に対してYZ面内で角度 θ_i 傾いており、具体的には以下のように設定する。

【0058】z軸：ローカル座標の原点を通り、絶対座標系のZ方向に対しYZ面内において反時計方向に角度 θ_i をなす直線

y軸：ローカル座標の原点を通り、z方向に対しYZ面内において反時計方向に90°をなす直線

x軸：ローカル座標の原点を通り、YZ面に対し垂直な直線

また、Diは第i面と第(i+1)面のローカル座標の原点間

の間隔を表すスカラー量、Ndi、 n_{di} は第i面と第(i+1)面間の媒質の屈折率とアッペ数である。

【0059】また、本発明の実施形態の光学系は複数の光学素子の移動により全体の焦点距離を変化する（変倍をする）。本発明の数値データを挙げた実施形態では広角端(W)、望遠端(T)とこれらの中間位置(M)の三つの位置での光学系断面図、数値データを示す。

【0060】ここで、図5の光学素子においてYZ面内で光学素子が移動すると各変倍位置で値が変わるのは各面の位置を表すローカル座標の原点(Yi, Zi)であるが、数値データを挙げた実施形態では、変倍のために移動する光学素子がZ方向の移動の場合は座標値Ziを光学系が広角端、中間、望遠端の状態の順にZi(W)、Zi(M)、Zi(T)で表すこととし、変倍のために移動する光学素子がY方向の移動の場合は座標値Yiを光学系が広角端、中間、望遠端の状態の順にYi(W)、Yi(M)、Yi(T)で表すこととする。

【0061】なお、各面の座標値は広角端での値を示し、中間、望遠端では広角端との差で記述する。具体的には広角端(W)に対する中間位置(M)、望遠端(T)での移動量を各々a, bとすれば、以下の式で表す：

$$Z_i(M) = Z_i(W) + a$$

$$Z_i(T) = Z_i(W) + b$$

なお、a, bの符号は各面がZプラス方向に移動する場合を正、Zマイナス方向に移動する場合を負としている。移動がY方向の場合も同様である。また、この移動に伴い変化する面間隔Diは変数であり、各変倍位置での値を別表にまとめて示す。

【0062】本発明の実施形態は球面及び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径R_iを記している。曲率半径R_iの符号は、曲率中心がローカル座標のz軸プラス方向にある場合をプラスとし、z軸マイナス方向にある場合をマイナスとする。

【0063】ここで、球面は以下の式で表される形状である：

【0064】

【数1】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/R_i}{1 + \{1 - (x^2 + y^2)/R_i^2\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す：

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}\}$$

として

$$z = A/B + C_{02} y^2 + C_{20} x^2 + C_{03} y^3 + C_{21} x^2 y + C_{04} y^4 + C_{22} x^2 y^2 + C_{40} x^4$$

上記曲面式は x に関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面は yz 面を対称面とする面対称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合は xz 面に対して対称な形状を表す。

【0065】 $C_{03} = C_{21} = t = 0$

さらに

$C_{02} = C_{20}$ $C_{04} = C_{40} = C_{22}/2$

が満たされる場合は回転対称な形状を表す。以上の条件を満たさない場合は非回転対称な形状である。

【0066】なお、本発明の各実施形態においては、実施形態4を除いて、図5に示すように、その第1面は絞りである。又、水平半画角 u_y とは図5のYZ面内において第1面R1に入射する光束の最大画角、垂直半画角 u_x とはXZ面内において第1面R1に入射する光束の最大画角である。また、絞りの直径を絞り径として示している。これは光学系の明るさに関係する。

【0067】なお、実施形態4を除いて、入射瞳は第1面に位置するため上記絞り径は入射瞳径に等しい。

【0068】又、像面上での有効像範囲を像サイズとして示す。像サイズはローカル座標の y 方向のサイズを水平、 x 方向のサイズを垂直とした矩形領域で表している。

【0069】又、構成データを挙げている実施形態については光学系のサイズを示している。そのサイズは広角端における光線有効径によって定められるサイズである。

【0070】又、構成データを挙げている実施形態についてはその横収差図を示す。横収差図は各実施形態の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)の状態について、絞りR1への水平入射角、垂直入射角が夫々 (u_y, u_x) , $(0, u_x)$, $(-u_y, u_x)$, $(u_y, 0)$, $(0, 0)$, $(-u_y, 0)$ となる入射角の光束の横収差を示す。横収差図においては、横軸は瞳への入射高さを表し、縦軸は収差量を表している。各実施形態とも基本的に各面が yz 面を対称面とする面対称の形状となっている為、横収差図においても垂直画角のプラス、マイナス方向は同一となるので、図の簡略化の為に、マイナス方向の横収差図は省略している。

【0071】実施形態を以下に示す。

〔実施形態1〕図1は本発明のズーム光学系の実施形態1のYZ面内での光学断面図である。本実施形態は変倍比約3 倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

【0072】

	広角端	中間	望遠端				
水平半画角	26.3	18.2	9.3				
垂直半画角	20.3	13.9	7.0				
絞り径	2.4	2.4	2.4				
像サイズ	水平4.8mm × 垂直3.6mm						
光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 広角端において 12.4x 32.9x 62.0							
i	Yi	Zi (W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	6.15	1		絞り
第1光学素子B1							
2	0.00	6.15	0.00	9.00	1.64769	33.80	屈折面
3	0.00	15.15	17.78	11.66	1.64769	33.80	反射面
4	-6.78	5.66	2.45	11.20	1.64769	33.80	反射面
5	-12.49	15.30	-10.81	10.61	1.64769	33.80	反射面
6	-14.15	4.82	-17.97	10.69	1.64769	33.80	反射面
7	-21.71	12.38	-22.49	8.37	1.64769	33.80	反射面
8	-21.71	4.01	0.00	変数	1		屈折面
第2光学素子B2							
9	-21.71	-10.91	0.00	1.45	1.48749	70.21	屈折面
10	-21.71	-12.37	0.00	0.18	1		屈折面
11	-21.71	-12.55	0.00	1.57	1.60311	60.66	屈折面
12	-21.71	-14.12	0.00	0.13	1		屈折面
13	-21.71	-14.25	0.00	1.38	1.62041	60.27	屈折面
14	-21.71	-15.62	0.00	0.10	1		屈折面
15	-21.71	-15.72	0.00	2.14	1.64100	56.92	屈折面
16	-21.71	-17.87	0.00	0.12	1		屈折面
17	-21.71	-17.99	0.00	0.67	1.71736	29.51	屈折面
18	-21.71	-18.66	0.00	変数	1		屈折面

第3光学素子B3

19	-21.71	-32.51	0.00	2.04	1.58913	61.18	屈折面
20	-21.71	-34.55	0.00	0.71	1		屈折面
21	-21.71	-35.26	0.00	0.86	1.56384	60.69	屈折面
22	-21.71	-36.12	0.00	0.10	1		屈折面
23	-21.71	-36.22	0.00	2.15	1.60311	60.66	屈折面
24	-21.71	-38.38	0.00	0.10	1		屈折面
25	-21.71	-38.48	0.00	2.85	1.75520	27.51	屈折面
26	-21.71	-41.32	0.00	0.10	1		屈折面
27	-21.71	-41.42	0.00	0.50	1.65446	33.62	屈折面
28	-21.71	-41.92	0.00	変数	1		屈折面

29	-21.71	-46.00	0.00	0.00	1		像面
----	--------	--------	------	------	---	--	----

	広角端	中間	望遠端
--	-----	----	-----

D 8	14.93	7.22	9.22
-----	-------	------	------

D18	13.86	9.52	2.59
-----	-------	------	------

D28	4.08	16.14	21.06
-----	------	-------	-------

D 1 ~ 8面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$
----------	-------------------	-------------------

D 9 ~ 18面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 7.73$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 5.71$
-----------	--------------------------	--------------------------

D19 ~ 28面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 12.06$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 16.98$
-----------	---------------------------	---------------------------

D29 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$
-------	-------------------	-------------------

球面形状

R 2 面	$R_2 = -12.622$
-------	-----------------

R 8 面	$R_8 = -14.877$
-------	-----------------

R 9 面	$R_9 = 12.866$
-------	----------------

R10 面	$R_{10} = 10.705$
-------	-------------------

R11 面	$R_{11} = 138.974$
-------	--------------------

R12 面	$R_{12} = 14.258$
-------	-------------------

R13 面	$R_{13} = -42.325$
-------	--------------------

R14 面	$R_{14} = 14.369$
-------	-------------------

R15 面	$R_{15} = -7.298$
-------	-------------------

R16 面	$R_{16} = 58.857$
-------	-------------------

R17 面	$R_{17} = 29.735$
-------	-------------------

R18 面	$R_{18} = -6.045$
-------	-------------------

R19 面	$R_{19} = -98.642$
-------	--------------------

R20 面	$R_{20} = 20.180$
-------	-------------------

R21 面	$R_{21} = -28.327$
-------	--------------------

R22 面	$R_{22} = 37.323$
-------	-------------------

R23 面	$R_{23} = -11.405$
-------	--------------------

R24 面	$R_{24} = 11.769$
-------	-------------------

R25 面	$R_{25} = 11.362$
-------	-------------------

R26 面	$R_{26} = 67.664$
-------	-------------------

R27 面	$R_{27} = -6.735$
-------	-------------------

R28 面	$R_{28} = -5.455$
-------	-------------------

非球面形状

R 3 面	a	= -1.67168e+01	b	= -1.40383e+01	t	= 2.13856e+01
-------	---	----------------	---	----------------	---	---------------

	C_{03}	= -4.89226e-05	C_{21}	= -8.30083e-05
--	----------	----------------	----------	----------------

	C_{04}	= 1.08453e-05	C_{22}	= 2.53575e-05	C_{40}	= 1.82792e-05
--	----------	---------------	----------	---------------	----------	---------------

$$\begin{aligned} R4 \text{ 面 } a &= -6.16288e+00 \quad b = -1.19620e+01 \quad t = 4.52060e+01 \\ C_{03} &= 4.89807e-03 \quad C_{21} = 2.67721e-03 \\ C_{04} &= 1.88551e-04 \quad C_{22} = -2.04184e-04 \quad C_{40} = 1.07399e-04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R5 \text{ 面 } a &= -2.03427e+01 \quad b = -2.34954e+01 \quad t = 3.70433e+01 \\ C_{03} &= 5.02647e-04 \quad C_{21} = 1.88611e-04 \\ C_{04} &= 2.09495e-05 \quad C_{22} = 2.42572e-06 \quad C_{40} = -1.92403e-06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R6 \text{ 面 } a &= -1.22106e+02 \quad b = -1.22097e+02 \quad t = 7.58653e+01 \\ C_{03} &= 4.66466e-04 \quad C_{21} = 4.88673e-05 \\ C_{04} &= -4.14548e-05 \quad C_{22} = -1.09844e-04 \quad C_{40} = -6.05085e-05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R7 \text{ 面 } a &= -1.45959e+01 \quad b = -1.84911e+02 \quad t = 2.98825e+01 \\ C_{03} &= 2.73516e-04 \quad C_{21} = 5.85397e-05 \\ C_{04} &= -2.28623e-06 \quad C_{22} = -6.14890e-06 \quad C_{40} = -8.24738e-06 \end{aligned}$$

図1において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。B1は第1光学素子であり、1つのブロック上に第2面R2（屈折入射面）と曲面の内面反射面である第3面R3～第7面R7と第8面R8（屈折射出面）を形成している。B2は第2光学素子であり、共軸の屈折面第9面R9～第18面R18より構成される複数のレンズで構成している。B3は第3光学素子であり、共軸の屈折面第19面R19～第28面R28より構成される複数のレンズで構成している。そして第29面R29は像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面が位置する。

【0073】本実施形態は所謂三群ズームレンズであり、絞りR1と第1光学素子が第1群、第2光学素子B2が第2群、第3光学素子B3が第3群を構成し、このうち、第2群と第3群が相対的位置を変化させて変倍作用を行う変倍群である。

【0074】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4、第5面R5、第6面R6、第7面R7で反射、第8面R8で屈折し、第1光学素子B1を出射する。このとき、入射光束は第4面R4近傍に一旦中間結像する。更に、第1光学素子B1と第2光学素子B2との間に2次結像する。

【0075】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2内では第9面R9～第18面R18で屈折し、第2光学素子B2を出射する。この時光束の主光線は第18面R18近傍に結像して瞳を形成している。

【0076】次に第2光学素子B2を出射した光束は第3光学素子B3に入射する。第3光学素子B3内では第19面R19～第28面R28で屈折して第3光学素子B3を出射し、最終結像面である第29面R29上に結像する。

【0077】次に、変倍動作の際の各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は固定であり、動かない。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動した後Zマイナス方向に移動

する。第3光学素子B3は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。像面である第29面R29は変倍に際して移動しない。

【0078】そして、広角端から望遠端に向っての変倍により第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まった後広がり、第2光学素子B2と第3光学素子B3との間隔は狭まり、第3光学素子B3と像面R29との間は広がる。また、広角端から望遠端の変倍に際して第1面R1から像面R29までの全系の光路長は一定である。

【0079】本実施形態においては第1光学素子B1の入射・出射基準軸は平行で逆方向に向いている。又、変倍作用を行う第2光学素子B2と第3光学素子B3の基準軸はこれらの光学素子の光軸であり、互いに共通であり、夫々の入射・出射基準軸は同方向に向いている。

【0080】図2、3、4は本実施形態の横収差図である。

【0081】又、本実施形態において、異なる物体距離に対するフォーカシングは絞りR1と第1光学素子B1とを一体的にZ軸方向へ移動して行う。

【0082】本実施形態はズーム光学系の物体側に絞りR1を備え、第1光学素子B1の中とその後ろで物体像を結像することによって第1光学素子B1の各面の有効径を縮小してX方向に薄い小型の光学素子としている。

【0083】又、第1光学素子B1に設けた複数の内面反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することによりズーム光学系の中の光束をけられることなく所望の形状に屈曲してZ方向の全長を短縮している。

【0084】更に、第1光学素子B1は透明体の表面に複数の反射面を形成しているので、性能へ大きく影響する反射面の位置精度（組立精度）のバラツキ及び狂いの少ないズーム光学系となる。

【0085】又、本実施形態のズーム光学系は複数の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸屈折面で構成する光学素子（共軸光学素子）を適切に組み合わせている

ので、ズーム光学系を偏心配置した反射面のみで構成する場合に比べて、共軸光学素子にパワーを分担させて偏心収差の発生を抑えており、又共軸球面屈折面より成る光学素子を使用しているので各収差を容易に補正できる。

【0086】更に、かかる共軸球面屈折面より成る光学

素子はその製作が容易である。

〔実施形態2〕図6は本発明のズーム光学系の実施形態2のYZ面内での光学断面図である。本実施形態は変倍比約3倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

	広角端	中間	望遠端				
水平半画角	20.3	13.9	7.0				
垂直半画角	26.3	18.2	9.3				
絞り径	2.4	2.4	2.4				
像サイズ	水平3.6mm × 垂直4.8mm						
光学系のサイズ(X×Y×Z)＝広角端において				8.8x	77.9x	15.6	
i	Yi	Zi (W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	2.25	1		絞り
第1 光学素子B1							
2	0.00	2.25	0.00	6.75	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	9.00	25.18	8.75	1.51633	64.15	反射面
4	-6.74	3.42	12.37	8.75	1.51633	64.15	反射面
5	-10.52	11.31	5.31	8.75	1.51633	64.15	反射面
6	-15.70	4.25	-7.76	8.75	1.51633	64.15	反射面
7	-22.57	9.67	-27.54	9.00	1.51633	64.15	反射面
8	-22.05	0.68	-46.66	5.80	1.51633	64.15	反射面
9	-27.85	0.68	-90.00	変数	1		屈折面
第2 光学素子B2							
10	-38.92	0.68	-90.00	1.97	1.56873	63.16	屈折面
11	-40.89	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
12	-40.99	0.68	-90.00	1.68	1.62041	60.27	屈折面
13	-42.68	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
14	-42.78	0.68	-90.00	1.99	1.62041	60.27	屈折面
15	-44.77	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
16	-44.87	0.68	-90.00	2.36	1.62280	57.06	屈折面
17	-47.23	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
18	-47.33	0.68	-90.00	0.50	1.72151	29.24	屈折面
19	-47.83	0.68	-90.00	変数	1		屈折面
第3 光学素子B3							
20	-60.21	0.68	-90.00	1.48	1.58913	61.18	屈折面
21	-61.70	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
22	-61.80	0.68	-90.00	1.58	1.58913	61.18	屈折面
23	-63.38	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
24	-63.48	0.68	-90.00	2.76	1.60729	59.37	屈折面
25	-66.23	0.68	-90.00	3.20	1.75520	27.51	屈折面
26	-69.43	0.68	-90.00	0.10	1		屈折面
27	-69.53	0.68	-90.00	0.50	1.59551	39.28	屈折面
28	-70.03	0.68	-90.00	変数	1		屈折面
29	-74.72	0.68	-90.00	0.00	1		像面
	広角端	中間	望遠端				
D 9	11.07	4.69	6.29				
D19	12.38	8.74	1.44				

D28 4.69 14.71 20.42

D 1 ~ 9面 $Y_i(M) = Y_i(W)$ $Y_i(T) = Y_i(W)$
 D10 ~19面 $Y_i(M) = Y_i(W) - 6.39$ $Y_i(T) = Y_i(W) - 4.78$
 D20 ~28面 $Y_i(M) = Y_i(W) - 10.02$ $Y_i(T) = Y_i(W) - 15.73$
 D29 面 $Y_i(M) = Y_i(W)$ $Y_i(T) = Y_i(W)$

球面形状

R 2 面 $R_2 = \infty$
 R 9 面 $R_9 = -14.692$
 R10 面 $R_{10} = -15.785$
 R11 面 $R_{11} = -9.916$
 R12 面 $R_{12} = 806.578$
 R13 面 $R_{13} = -19.136$
 R14 面 $R_{14} = 24.764$
 R15 面 $R_{15} = -26.101$
 R16 面 $R_{16} = 7.532$
 R17 面 $R_{17} = -123.778$
 R18 面 $R_{18} = -52.093$
 R19 面 $R_{19} = 5.947$
 R20 面 $R_{20} = 113.146$
 R21 面 $R_{21} = -19.210$
 R22 面 $R_{22} = 16.059$
 R23 面 $R_{23} = -106.475$
 R24 面 $R_{24} = 16.867$
 R25 面 $R_{25} = -7.880$
 R26 面 $R_{26} = -23.891$
 R27 面 $R_{27} = 6.381$
 R28 面 $R_{28} = 5.013$

非球面形状

R 3 面 $a = -3.59218e+01$ $b = -9.56407e+00$ $t = 2.62788e+01$
 $C_{03} = -3.28591e-04$ $C_{21} = 1.09040e-04$
 $C_{04} = 3.02002e-05$ $C_{22} = 7.33327e-05$ $C_{40} = 7.31472e-05$

 R 4 面 $a = -4.46438e+00$ $b = 7.31244e+00$ $t = 1.05955e+01$
 $C_{03} = -8.43381e-04$ $C_{21} = 1.15148e-04$
 $C_{04} = -4.92526e-04$ $C_{22} = -1.32799e-03$ $C_{40} = -3.91919e-04$

 R 5 面 $a = -1.27855e+01$ $b = -2.36243e+01$ $t = 1.82299e+01$
 $C_{03} = 4.49533e-05$ $C_{21} = 4.24795e-05$
 $C_{04} = -2.72263e-05$ $C_{22} = -1.26579e-04$ $C_{40} = -1.65426e-04$

 R 6 面 $a = -9.17197e+00$ $b = -4.60643e+01$ $t = 1.12881e+01$
 $C_{03} = 8.58718e-05$ $C_{21} = -8.69345e-04$
 $C_{04} = -3.09227e-04$ $C_{22} = -9.83897e-04$ $C_{40} = -1.26913e-03$

 R 7 面 $a = -1.38671e+01$ $b = -2.68360e+01$ $t = 1.28619e+01$
 $C_{03} = 1.27138e-05$ $C_{21} = -3.07799e-04$

$$C_{04} = -8.55028e-06 \quad C_{22} = -5.67380e-05 \quad C_{40} = -8.71918e-05$$

$$R8 \text{ 面 } a = -7.36361e+01 \quad b = 5.55994e+01 \quad t = 7.05431e+01$$

$$C_{03} = -1.26030e-04 \quad C_{21} = -1.97414e-03$$

$$C_{04} = 2.06017e-05 \quad C_{22} = -2.60272e-05 \quad C_{40} = -3.06310e-04$$

図6において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。B1は第1光学素子であり、1つのブロック上に第2面R2（屈折入射面）と曲面の内面反射面である第3面R3～第8面R8と第9面R9（屈折射出面）を形成している。B2は第2光学素子であり、共軸の屈折面第10面R10～第19面R19より構成される複数のレンズで構成している。B3は第3光学素子であり、共軸の屈折面第20面R20～第28面R28より構成される複数のレンズで構成している。そして第29面R29は像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面が位置する。

【0087】本実施形態は所謂三群ズームレンズであり、絞りR1と第1光学素子が第1群、第2光学素子B2が第2群、第3光学素子B3が第3群を構成し、このうち、第2群と第3群が相対的位置を変化させて変倍作用を行う変倍群である。

【0088】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4、第5面R5、第6面R6、第7面R7、第8面R8で反射、第9面R9で屈折し、第1光学素子B1を出射する。このとき、入射光束は第4面R4近傍に中間結像する。更に、第1光学素子B1と第2光学素子B2との間に2次結像する。

【0089】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2内では第10面R10～第19面R19で屈折し、第2光学素子B2を出射する。この時光束の主光線は第19面R19の後ろで結像して瞳を形成している。

【0090】次に第2光学素子B2を出射した光束は第3光学素子B3に入射する。第3光学素子B3内では第20面R20～第28面R28で屈折して第3光学素子B3を出射し、最終結像面である第29面R29上に結像する。

【0091】次に、変倍動作の際の各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は固定であり、動かない。第2光学素子B2は広角端から望遠端への変倍に際してYプラス方向に移動した後Yマイナス方向に移動する。又、第3光学素子B3はYプラス方向に移動する。像面である第29面R29は変倍に際して移動しない。

【0092】そして、広角端から望遠端に向っての変倍により第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まった後広がり、第2光学素子B2と第3光学素子B3との間

隔は狭まり、第3光学素子B3と像面R29との間は広がる。また、広角端から望遠端への変倍に際して第1面R1から像面R29間での全系の光路長は一定である。

【0093】本実施形態においては第1光学素子B1の入射・出射基準軸は90°の角度をなしている。又、変倍作用を行う第2光学素子B2と第3光学素子B3の基準軸はこれらの光学素子の光軸であり、互いに共通であり、夫々の入射・出射基準軸は同方向に向いている。

【0094】図7、8、9は本実施形態の横収差図である。

【0095】又、本実施形態において、異なる距離に対するフォーカシングは絞りR1と第1光学素子B1とを一体的にY軸方向へ移動して行う。

【0096】本実施形態はズーム光学系の物体側に絞りR1を備え、第1光学素子B1の中とその後ろで物体像を結像することによって第1光学素子B1の各面の有効径を縮小してX方向に薄い小型の光学素子としている。

【0097】又、第1光学素子B1に設けた複数の内面反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することによりズーム光学系の中の光束をけられること無く所望の形状に屈曲してZ方向の全長を短縮している。

【0098】更に、第1光学素子B1は透明体の表面に複数の反射面を形成しているので、性能へ大きく影響する反射面の位置精度（組立精度）のバラツキ及び狂いの少ないズーム光学系となる。

【0099】又、本実施形態のズーム光学系は複数の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸屈折面で構成する光学素子（共軸光学素子）を適切に組み合わせているので、ズーム光学系を偏心配置した反射面のみで構成する場合に比べて、共軸光学素子にパワーを分担させて偏心収差の発生を抑えており、又共軸球面屈折面より成る光学素子を使用しているので各収差を容易に補正できる。

【0100】更に、かかる共軸球面屈折面より成る光学素子はその製作が容易である。

【実施形態3】図10は本発明のズーム光学系の実施形態3のYZ面内での光学断面図である。本実施形態は変倍比約3倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

	広角端	中間	望遠端
水平半画角	26.3	18.2	9.3
垂直半画角	20.3	13.9	7.0
絞り径	2.5	2.5	2.5

像サイズ 水平4.8mm × 垂直3.6mm

光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 広角端において 11.8x 41.2x 55.7

i	Yi	Zi (W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	5.12	1		絞り
第1光学素子B1							
2	0.00	5.12	0.00	7.50	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	12.62	25.00	11.00	1.58310	30.20	反射面
4	-8.43	5.55	3.29	10.00	1.58310	30.20	反射面
5	-15.30	12.82	-15.05	9.50	1.58310	30.20	反射面
6	-17.49	3.57	-13.42	10.00	1.58310	30.20	反射面
7	-23.94	11.22	2.15	10.00	1.58310	30.20	反射面
8	-30.94	4.08	22.22	7.99	1.58310	30.20	反射面
9	-30.94	12.06	0.00	変数	1		屈折面
第2光学素子B2							
10	-30.94	27.17	0.00	1.97	1.56873	63.16	屈折面
11	-30.94	29.15	0.00	0.10	1		屈折面
12	-30.94	29.25	0.00	1.68	1.62041	60.27	屈折面
13	-30.94	30.93	0.00	0.10	1		屈折面
14	-30.94	31.03	0.00	1.99	1.62041	60.27	屈折面
15	-30.94	33.02	0.00	0.10	1		屈折面
16	-30.94	33.12	0.00	2.36	1.62280	57.06	屈折面
17	-30.94	35.48	0.00	0.10	1		屈折面
18	-30.94	35.58	0.00	0.50	1.72151	29.24	屈折面
19	-30.94	36.08	0.00	変数	1		屈折面
第3光学素子B3							
20	-30.94	48.80	0.00	1.48	1.58913	61.18	屈折面
21	-30.94	50.28	0.00	0.10	1		屈折面
22	-30.94	50.38	0.00	1.58	1.58913	61.18	屈折面
23	-30.94	51.96	0.00	0.10	1		屈折面
24	-30.94	52.06	0.00	2.76	1.60729	59.37	屈折面
25	-30.94	54.82	0.00	3.20	1.75520	27.51	屈折面
26	-30.94	58.02	0.00	0.10	1		屈折面
27	-30.94	58.12	0.00	0.50	1.59551	39.28	屈折面
28	-30.94	58.62	0.00	変数	1		屈折面
29	-30.94	61.58	-0.00	0.00	1		像面

	広角端	中間	望遠端
D 9	15.11	4.81	6.79
D19	12.71	10.22	3.53
D28	2.96	15.75	20.46

D 1 ~ 9面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$
D10 ~19面	$Z_i(M) = Z_i(W) - 10.30$	$Z_i(T) = Z_i(W) - 8.32$
D20 ~28面	$Z_i(M) = Z_i(W) - 12.79$	$Z_i(T) = Z_i(W) - 17.50$
D29 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 2 面 $R_2 = -9.470$ R 9 面 $R_9 = 12.397$

R10 面 $R_{10} = -18.096$
 R11 面 $R_{11} = -12.488$
 R12 面 $R_{12} = -22.656$
 R13 面 $R_{13} = -11.326$
 R14 面 $R_{14} = 39.448$
 R15 面 $R_{15} = -16.896$
 R16 面 $R_{16} = 7.231$
 R17 面 $R_{17} = -53.267$
 R18 面 $R_{18} = -29.796$
 R19 面 $R_{19} = 6.222$
 R20 面 $R_{20} = -103.294$
 R21 面 $R_{21} = -13.173$
 R22 面 $R_{22} = 21.609$
 R23 面 $R_{23} = -56.334$
 R24 面 $R_{24} = 19.368$
 R25 面 $R_{25} = -9.154$
 R26 面 $R_{26} = -35.784$
 R27 面 $R_{27} = 7.883$
 R28 面 $R_{28} = 7.084$

非球面形状

R 3 面 $a = -1.29771e+01$ $b = -1.91952e+01$ $t = 2.50000e+01$
 $C_{03} = 2.25585e-05$ $C_{21} = -2.14047e-04$
 $C_{04} = 2.44891e-08$ $C_{22} = -2.05123e-05$ $C_{40} = 1.18194e-05$

R 4 面 $a = -1.29087e+01$ $b = -8.14895e+00$ $t = -4.67120e+01$
 $C_{03} = 5.33084e-04$ $C_{21} = 1.13391e-03$
 $C_{04} = -2.45084e-06$ $C_{22} = -2.01069e-04$ $C_{40} = 1.53466e-03$

R 5 面 $a = -1.83631e+01$ $b = -2.14773e+01$ $t = 2.83707e+01$
 $C_{03} = 3.66045e-05$ $C_{21} = 2.04110e-04$
 $C_{04} = -4.32368e-07$ $C_{22} = -8.35352e-06$ $C_{40} = 1.98574e-05$

R 6 面 $a = -1.86729e+00$ $b = 1.86042e+00$ $t = -2.67346e+01$
 $C_{03} = 1.77221e-04$ $C_{21} = 7.97292e-04$
 $C_{04} = -1.31000e-05$ $C_{22} = -4.24244e-05$ $C_{40} = 4.17627e-05$

R 7 面 $a = 6.95459e+00$ $b = -9.77460e+00$ $t = 4.22976e+01$
 $C_{03} = 1.48091e-04$ $C_{21} = 1.42273e-03$
 $C_{04} = 2.36193e-05$ $C_{22} = 4.19020e-05$ $C_{40} = 1.80643e-04$

R 8 面 $a = 2.61262e+01$ $b = 1.59224e+01$ $t = -22.2220e+01$
 $C_{03} = 4.14325e-05$ $C_{21} = 4.47240e-04$
 $C_{04} = 3.20699e-06$ $C_{22} = -3.07287e-05$ $C_{40} = 1.58223e-05$

図10において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。
 B1は第1光学素子であり、1つのブロック上に第2面R2
 (屈折入射面)と曲面の内面反射面である第3面R3～第
 8面R8と第9面R9(屈折射出面)を形成している。B2は
 第2光学素子であり、共軸の屈折面第10面R10～第1

9面R19より構成される複数のレンズで構成している。
 B3は第3光学素子であり、共軸の屈折面第20面R20～
 第28面R28より構成される複数のレンズで構成してい
 る。そして第29面R29は像面であり、CCD等の撮像媒
 体の撮像面が位置する。

【0101】本実施形態は所謂三群ズームレンズであり、絞りR1と第1光学素子が第1群、第2光学素子B2が第2群、第3光学素子B3が第3群を構成し、このうち、第2群と第3群が相対的位置を変化させて変倍作用を行う変倍群である。

【0102】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4、第5面R5、第6面R6、第7面R7、第8面R8で反射、第9面R9で屈折し、第1光学素子B1を出射する。このとき、入射光束は第4面R4近傍に中間結像する。更に、第1光学素子B1と第2光学素子B2との間に2次結像する。

【0103】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2内では第10面R10～第19面R19で屈折し、第2光学素子B2を出射する。この時光束の主光線は第19面R19の後ろで結像して瞳を形成している。

【0104】次に第2光学素子B2を出射した光束は第3光学素子B3に入射する。第3光学素子B3内では第20面R20～第28面R28で屈折して第3光学素子B3を出射し、最終結像面である第29面R29上に結像する。

【0105】次に、変倍動作の際の各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は固定であり、動かない。第2光学素子B2は広角端から望遠端への変倍に際してZ マイナス方向に移動した後Z プラス方向に移動する。又、第3光学素子B3はZ マイナス方向に移動する。像面である第29面R29は変倍に際して移動しない。

【0106】そして、広角端から望遠端に向っての変倍により第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まった後広がり、第2光学素子B2と第3光学素子B3との間隔は狭まり、第3光学素子B3と像面R29との間は広がる。また、広角端から望遠端への変倍に際して第1面R1から像面R29間での全系の光路長は一定である。本実施形態においては第1光学素子B1の入射・出射基準軸は共に平行で同方向である。又、変倍作用を行う第2光学素子B2と第3光学素子B3の基準軸はこれらの光学素子の光軸であり、互いに共通であり、夫々の入射・出射基準軸は同方向に向いている。

【0107】図11、12、13は本実施形態の横収差図である。

【0108】又、本実施形態において、異なる物体距離に対するフォーカシングは絞りR1と第1光学素子B1とを一体的にZ 軸方向へ移動して行う。

【0109】本実施形態はズーム光学系の物体側に絞りR1を備え、第1光学素子B1の中とその後ろで物体像を結像することによって第1光学素子B1の各面の有効径を縮小してX 方向に薄い小型の光学素子としている。

【0110】又、第1光学素子B1に設けた複数の内面反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することによりズーム光学系の中の光束をけられること無く所望の形状に屈曲してZ 方向の全長を短縮している。

【0111】更に、第1光学素子B1は透明体の表面に複数の反射面を形成しているので、性能へ大きく影響する反射面の位置精度（組立精度）のバラツキ及び狂いの少ないズーム光学系となる。

【0112】又、本実施形態のズーム光学系は複数の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸屈折面で構成する光学素子（共軸光学素子）を適切に組み合わせているので、ズーム光学系を偏心配置した反射面のみで構成する場合に比べて、共軸光学素子にパワーを分担させて偏心収差の発生を抑えており、又共軸球面屈折面より成る光学素子を使用しているので各収差を容易に補正できる。

【0113】更に、かかる共軸球面屈折面より成る光学素子はその製作が容易である。

【0114】以上の実施形態は、複数の反射面が1つのブロック上に形成された光学素子が固定され共軸部が移動し変倍を行っているが、共軸部を固定し、複数の反射面が1つのブロック上に形成された光学素子を移動して変倍を行う場合もある。以下に、その例を示す。

〔実施形態4〕図14は本発明のズーム光学系の実施形態4のYZ面内での光学断面図である。本実施形態は変倍比約3 倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

【0115】

	広角端	中間	望遠端
水平半画角	26.0	18.0	9.2
垂直半画角	20.0	13.6	6.9
絞り径	2.0	2.5	3.6
像サイズ	水平4.8mm × 垂直3.6mm		
光学系のサイズ(X×Y ×Z)＝広角端において 13.6x 95.6x 36.9			

i	Yi	Zi (w)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
第1光学素子B1							
1	0.00	0.00	0.00	1.00	1.49700	81.61	屈折面
2	0.00	1.00	0.00	3.00	1		屈折面

3	0.00	4.00	0.00	変数	1		絞り
第2光学素子B2							
4	0.00	6.00	0.00	13.00	1.58312	59.37	屈折面
5	0.00	19.00	34.00	9.00	1.58312	59.37	反射面
6	-8.34	15.63	19.00	9.00	1.58312	59.37	反射面
7	-12.84	23.42	0.00	9.00	1.58312	59.37	反射面
8	-17.34	15.63	-15.00	9.00	1.58312	59.37	反射面
9	-25.14	20.13	-30.00	12.00	1.58312	59.37	反射面
10	-25.14	8.13	0.00	0.00	1		屈折面
第3光学素子B3							
10'	-25.14	8.13	0.00	2.00	1.67032	32.07	屈折面
11	-25.14	6.13	0.00	変数	1		屈折面
第4光学素子B4							
12	-25.14	-2.03	0.00	7.00	1.58313	59.37	屈折面
13	-25.14	-9.03	-32.00	12.00	1.58313	59.37	反射面
14	-35.92	-3.77	-14.00	12.00	1.58313	59.37	反射面
15	-42.98	-13.48	0.00	12.00	1.58313	59.37	反射面
16	-50.03	-3.77	14.00	12.00	1.58313	59.37	反射面
17	-60.82	-9.03	32.00	7.00	1.58313	59.37	反射面
18	-60.82	-1.03	0.00	変数	1		屈折面
第5光学素子B5							
19	-60.82	5.03	0.00	8.00	1.58313	59.37	屈折面
20	-60.82	13.03	30.00	10.00	1.58313	59.37	反射面
21	-69.48	8.03	15.00	10.00	1.58313	59.37	反射面
22	-74.48	16.69	0.00	10.00	1.58313	59.37	反射面
23	-79.48	8.03	-15.00	10.00	1.58313	59.37	反射面
24	-88.14	13.03	-30.00	8.00	1.58313	59.37	反射面
25	-88.14	5.03	0.00	変数	1		屈折面
26	-88.14	-6.32	0.00	1.80	1		像面

	広角端	中間	望遠端
D 3	2.00	2.00	2.00
D11	8.16	5.68	3.02
D18	6.06	6.32	12.24
D25	11.35	14.09	22.67

D 1 ~11面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$
D12 ~18面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 2.48$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 5.14$
D19 ~25面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 2.74$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 11.32$
D26 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 1 面	$R_1 = \infty$
R 2 面	$R_2 = 10.000$
R 4 面	$R_4 = 10.000$
R10 面	$R_{10} = -3.796$
R11 面	$R_{11} = 113.237$
R12 面	$R_{12} = 96.928$
R18 面	$R_{18} = 10.281$

R19 面 $R_{19} = -68.222$ R25 面 $R_{25} = \infty$

非球面形状

R 5 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -2.77957e-02$ $C_{20} = -3.61721e-02$ $C_{03} = 2.17709e-04$ $C_{21} = 8.17518e-04$ $C_{04} = 4.81535e-05$ $C_{22} = -2.24283e-04$ $C_{40} = -5.50769e-05$ R 6 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -2.07844e-03$ $C_{20} = -3.13275e-02$ $C_{03} = -1.20110e-03$ $C_{21} = -7.31324e-03$ $C_{04} = -1.45746e-04$ $C_{22} = -9.98634e-04$ $C_{40} = -2.62001e-04$ R 7 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -2.65330e-02$ $C_{20} = -4.37591e-02$ $C_{03} = 2.37808e-06$ $C_{21} = -9.02645e-06$ $C_{04} = -1.21344e-05$ $C_{22} = -8.82376e-05$ $C_{40} = -9.77118e-05$ R 8 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -5.49968e-03$ $C_{20} = -5.00091e-02$ $C_{03} = 1.23568e-03$ $C_{21} = 6.67246e-03$ $C_{04} = -5.38006e-05$ $C_{22} = -3.35556e-04$ $C_{40} = -3.23857e-04$ R 9 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -1.86844e-02$ $C_{20} = -3.77602e-02$ $C_{03} = 4.19348e-04$ $C_{21} = 6.72125e-04$ $C_{04} = -6.12034e-05$ $C_{22} = 3.47535e-05$ $C_{40} = -5.09619e-05$ R13 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = 2.26678e-02$ $C_{20} = 2.41426e-02$ $C_{03} = -2.57750e-04$ $C_{21} = 1.16383e-03$ $C_{04} = -2.40426e-05$ $C_{22} = -7.46204e-05$ $C_{40} = 2.82412e-05$ R14 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -4.00972e-03$ $C_{20} = 7.14507e-03$ $C_{03} = -4.46529e-04$ $C_{21} = -2.31087e-03$ $C_{04} = -2.56127e-05$ $C_{22} = -1.36947e-04$ $C_{40} = -1.25987e-04$ R15 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = 1.41059e-02$ $C_{20} = 2.96468e-02$ $C_{03} = -8.17957e-05$ $C_{21} = 9.43283e-04$ $C_{04} = -1.06545e-05$ $C_{22} = -2.82343e-05$ $C_{40} = 4.45663e-05$ R16 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$ $C_{02} = -8.51071e-05$ $C_{20} = 2.53915e-02$ $C_{03} = 1.68862e-04$ $C_{21} = 3.65939e-03$ $C_{04} = 1.08096e-06$ $C_{22} = 1.80358e-04$ $C_{40} = 9.97536e-05$ R17 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$

$$\begin{aligned} C_{02} &= 1.32874e-02 & C_{20} &= 2.94218e-02 \\ C_{03} &= -6.81885e-05 & C_{21} &= 9.64816e-04 \\ C_{04} &= 1.70534e-05 & C_{22} &= 4.93143e-05 & C_{40} &= -1.51564e-06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R20 面} \quad a &= \infty & b &= \infty & t &= 0. \\ C_{02} &= -1.66195e-02 & C_{20} &= -1.97204e-02 \\ C_{03} &= -2.82112e-04 & C_{21} &= 8.70403e-05 \\ C_{04} &= -3.71423e-06 & C_{22} &= -7.20107e-06 & C_{40} &= -6.70241e-06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R21 面} \quad a &= \infty & b &= \infty & t &= 0. \\ C_{02} &= -2.13470e-02 & C_{20} &= -2.68230e-02 \\ C_{03} &= -7.85470e-04 & C_{21} &= 4.61286e-03 \\ C_{04} &= -1.61086e-04 & C_{22} &= -1.96712e-05 & C_{40} &= -6.34362e-05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R22 面} \quad a &= \infty & b &= \infty & t &= 0. \\ C_{02} &= -2.30872e-02 & C_{20} &= -2.69354e-02 \\ C_{03} &= -3.03473e-06 & C_{21} &= 1.13297e-03 \\ C_{04} &= -3.08514e-05 & C_{22} &= 5.26162e-05 & C_{40} &= 3.43593e-05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R23 面} \quad a &= \infty & b &= \infty & t &= 0. \\ C_{02} &= -2.42460e-02 & C_{20} &= -4.51798e-02 \\ C_{03} &= 3.73285e-04 & C_{21} &= 4.33871e-03 \\ C_{04} &= -1.89172e-04 & C_{22} &= 1.70543e-04 & C_{40} &= 3.82206e-06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{R24 面} \quad a &= \infty & b &= \infty & t &= 0. \\ C_{02} &= -1.92202e-02 & C_{20} &= -2.60605e-02 \\ C_{03} &= 1.04217e-04 & C_{21} &= 3.77042e-04 \\ C_{04} &= -1.55696e-05 & C_{22} &= -2.50258e-05 & C_{40} &= -2.42690e-05 \end{aligned}$$

図14において、B1は第1光学素子であり、第1面R1及び第2面R2で構成する屈折レンズである。第3面R3は絞り面である。B2は第2光学素子であり、1つのブロック上に第4面R4（屈折入射面）と曲面の内面反射面である第5面R5～第9面R9と第10面R10（屈折射出面）を形成している。B3は第3光学素子であり、第10面R10'及び第11面R11で構成する屈折レンズである。なお、第2光学素子と第3光学素子とは第10面R10と第10面R10'とで接合している。

【0116】B4は第4光学素子であり、1つのブロック上に第12面R12（屈折入射面）と曲面の内面反射面である第13面R13～第17面R17と第18面R18（屈折射出面）を形成している。B5は第5光学素子であり、1つのブロック上に第19面R19（屈折入射面）と曲面の内面反射面である第20面R20～第24面R24と第25面R25（屈折射出面）を形成している。そして第26面R26は像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面が位置する。

【0117】本実施形態は所謂三群ズームレンズであり、第1光学素子B1、絞りR3、第2光学素子B2及び第3光学素子B3は第1群を構成し、第4光学素子B4は第2群を、第5光学素子B5は第3群を構成し、第2群と第3群

は相対的位置を変化させて変倍を行う変倍群である。

【0118】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1光学素子B1、絞りR3の順に通過した光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2内では第4面R4で屈折、第5面R5、第6面R6、第7面R7、第8面R8、第9面R9で反射した後第10面R10で屈折して第3光学素子に入射し、第11面R11で屈折して第3光学素子B3を出射する。このとき、光束は第6面R6近傍に中間結像する。更に、第3光学素子B3と第4光学素子B4との間で2次結像する。

【0119】次に光束は第4光学素子B4に入射する。第4光学素子B4内では第12面R12で屈折、第13面R13、第14面R14、第15面R15、第16面R16、第17面R17で反射、第18面R18で屈折し、第4光学素子B4を出射する。このとき、光束は第14面R14と第15面R15の間で中間結像する。さらに光束は第16面R16近傍に瞳を形成している。

【0120】次に光束は第5光学素子B5に入射する。第5光学素子B5内では第19面R19で屈折、第20面R20、第21面R21、第22面R22、第23面R23、第24面R24で反射、第25面R25で屈折し、第5光学素子B5を出射する。このとき、光束は第21面R21近傍に中

間結像する。

【0121】最後に第5光学素子B5を出射した光束は最終結像面である第26面R26上に結像する。

【0122】次に、変倍動作に伴う各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1群である第1光学素子B1、第2光学素子B2、第3光学素子B3は固定であり、動かない。第4光学素子B4は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第5光学素子B5は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。像面である第27面R27は変倍に際して移動しない。

【0123】広角端から望遠端に向っての変倍に際して第3光学素子B3と第4光学素子B4との間隔は狭まり、第4光学素子B4と第5光学素子B5との間隔は広がり、第5光学素子B5と像面R26との間は広がる。

【0124】また、広角端から望遠端に向っての変倍に際して第1面R1から像面R26間での全系の光路長は長くなる。

【0125】本実施形態においては第2、第4、第5の光学素子B2、B4、B5の入射・出射基準軸は平行でしかも逆方向に向いている。

【0126】図15、16、17は本実施形態の横収差図である。

【0127】又、本実施形態において、異なる物体距離に対するフォーカシングは第1光学素子B1をZ軸方向に移動して行う。

【0128】本実施形態はズーム光学系の最初の光束入射面R1の近傍に絞りR1を備え、第2、第4、第5光学素子B2、B4、B5の中で物体像を結像することによってこれらの光学素子の各面の有効径を縮小してX方向に薄い小型の光学素子としている。

【0129】又、第2、第4、第5光学素子B2、B4、B5に設けた複数の内面反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することによりズーム光学系の中の光束をけられること無く所望の形状に屈曲してZ方向の全長を短縮している。

【0130】更に、第2、第4、第5光学素子B2、B4、B5は透明体の表面に複数の反射面を形成しているので、性能へ大きく影響する反射面の位置精度（組立精度）のバラツキ及び狂いが少ない。

【0131】又、本実施形態のズーム光学系はその第1光学素子B1を共軸屈折面で構成する光学素子（共軸光学素子）で構成しているのでフォーカシング機構が簡便に

なる。

【0132】又、本発明において、前記の実施形態1〜4等のように変倍に際して移動しない第1光学素子B1の入射基準軸を基準軸全体が存在していた平面（YZ平面）に対して或る角度傾けて入射させることによりカメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

【0133】図18は入射基準軸をX軸に平行に入射させる構成にしたズーム光学系の斜視図である。この光学系は実施形態1の第2面R2と第3面R3との間にYZ平面に対して45°傾いた平面の内面反射鏡R1,2を設けて第1光学素子B1の入射基準軸をX軸に平行に設定したズーム光学系である。

【0134】同図において、B1は変倍時に移動しない第1光学素子であり、三群ズーム光学系の第1群に相当する。なお、この第1光学素子B1はその反射面のみを斜視図として示している。B2、B3は夫々第2、第3光学素子であり、相対位置を変化して変倍を行う変倍群を構成している。第2光学素子B2は所謂バリエーター、第3光学素子B3はコンベンセーターに相当している。

【0135】そして第2、第3の光学素子B2、B3は図18のYZ平面上の1つの直線（これらの光学素子の光軸）上を移動して変倍を行う。そして、第2、第3の光学素子B2、B3内の全ての基準軸はこれらの光軸上に存在している。

【0136】この光学系において、変倍に際して固定の第1の光学素子B1内の基準軸の一部（A1,2〜A1,8）はYZ平面内に存在しなければならないが、基準軸のその他の部分、即ち物体から絞りまでの基準軸A0及び絞りから第1反射面R1,2までの基準軸A1,1は基準軸平面（YZ平面）内である必要は無い。

【0137】即ち、本実施形態においては、反射面R1,2を設けてX軸方向から入射する基準軸A0の方向をこの面R1,2によってZ軸方向に偏向している。このようにズーム光学系の最初の光束入射面R2の近傍に、その後の基準軸が含まれるYZ平面に対して傾いた反射面R1,2を適切に設定することにより、ズーム光学系に入射する光束の方向を自由に設定することができ、カメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

【実施形態5】図19は本発明のズーム光学系の実施形態5のYZ面内での光学断面図である。本実施形態は変倍比約2倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

	広角端	中間	望遠端	
水平半画角	19.1	13.7	9.8	
垂直半画角	14.5	10.4	7.4	
絞り径	1.60	1.80	2.10	
像サイズ	水平4.0mm × 垂直3.0mm			
光学系のサイズ(X×Y×Z)	= 広角端において			10.2x 30.0x 49.9
i	Yi	Zi (W)	θi	Di Ndi √di
第1群				

1	0.00	0.00	0.00	2.00	1		絞り
第1光学素子B1							
2	0.00	2.00	0.00	2.00	1.74400	44.70	屈折面
3	0.00	4.00	0.00	8.00	1		屈折面
第2光学素子B2							
4	0.00	12.00	30.00	12.00	1		反射面
5	-10.39	6.00	30.00	10.00	1		反射面
第3光学素子B3							
6	-10.39	16.00	0.00	2.00	1.75500	27.60	屈折面
7	-10.39	18.00	0.00	変数	1		屈折面
第2群							
第4光学素子B4							
8	-10.39	36.98	0.00	2.00	1.71766	46.92	屈折面
9	-10.39	38.98	0.00	7.00	1		屈折面
第5光学素子B5							
10	-10.39	45.98	45.00	12.00	1		反射面
11	-22.39	45.98	45.00	変数	1		反射面
第3群							
第6光学素子B6							
12	-22.39	34.18	0.00	2.00	1.48994	68.59	屈折面
13	-22.39	32.18	0.00	変数	1		屈折面
14	-22.39	18.85	0.00		1		像面

	広角端	中間	望遠端
D 7	18.98	8.71	1.00
D11	11.80	15.25	20.00
D14	13.33	13.33	13.33

D 1 ~ 7面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 13.73$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 26.18$
D 8 ~ 11面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 3.46$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 8.20$
D12 ~ 13面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$
D14 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 2 面	$R_2 = 97.206$
R 3 面	$R_3 = -26.032$
R 6 面	$R_6 = 11.385$
R 7 面	$R_7 = 15.046$
R 8 面	$R_8 = -159.987$
R 9 面	$R_9 = 24.470$
R12 面	$R_{13} = 1000.000$
R13 面	$R_{14} = -85.375$

非球面形状

R 4 面	$a = 1.45475e+01$	$b = -5.77853e+00$	$t = -2.42608e+01$
	$C_{03} = 8.63617e-04$	$C_{21} = 1.60115e-03$	
	$C_{04} = 8.13611e-05$	$C_{22} = 7.31698e-05$	$C_{40} = -1.34827e-04$

R5面 $a = -9.91101e+01$ $b = 4.27960e+01$ $t = -1.14636e+01$
 $C_{03} = 8.70976e-05$ $C_{21} = 1.68477e-04$
 $C_{04} = -1.72354e-04$ $C_{22} = -2.22388e-04$ $C_{40} = -1.98849e-04$

R10面 $a = 4.10898e+02$ $b = -2.06186e+01$ $t = 4.55596e+01$
 $C_{03} = -1.57719e-04$ $C_{21} = -4.64176e-04$
 $C_{04} = -2.54948e-06$ $C_{22} = 1.89777e-05$ $C_{40} = -8.72541e-07$

R11面 $a = -1.26094e+02$ $b = 2.55428e+01$ $t = 4.44452e+01$
 $C_{03} = 9.65477e-05$ $C_{21} = 6.18718e-05$
 $C_{04} = -5.69335e-06$ $C_{22} = 2.19389e-05$ $C_{40} = 8.07381e-06$

図19において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。B1は第1光学素子であり、第2面R2及び第3面R3で構成する屈折レンズである。B2は第2光学素子であり、反射面の第4面R4及び第5面R5を夫々表面鏡として1つの部材の上に一体的に形成している。B3は第3光学素子であり、第6面R6及び第7面R7で構成する屈折レンズである。B4は第4光学素子であり、第8面R8及び第9面R9で構成する屈折レンズである。B5は第5光学素子であり、反射面の第10面R10及び第11面R11を夫々表面鏡として1つの部材の上に一体的に形成している。B6は第6光学素子であり、第12面R12及び第13面R13で構成する屈折レンズである。第14面R14は像面であり、CCD等の撮像媒体の撮像面である。

【0138】そして、第1～第3光学素子B1, B2, B3は第1群を、第4～第5光学素子B4, B5は第2群を、第6光学素子B6は第3群を構成しており、この内第1群と第2群が相対位置を変化して結像倍率を変化させる変倍群を構成している。

【0139】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1、第1光学素子B1の順に通過した光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2内では第4面R4、第5面R5で反射して第2光学素子B2を出射する。この時、光束は第5面R5近傍に中間結像する。そして、第3光学素子B3を通過する。

【0140】次に光束は第4光学素子B4を通過し、第5光学素子B5に入射する。第5光学素子B5内では第10面R10、第11面R11で反射して第5光学素子B5を出射する。この時光束は第10面R10と第11面R11の間に瞳を形成する。

【0141】次に、光束は第6光学素子B6を通過して最終結像面である第14面R14上に結像する。

【0142】次に、変倍動作の際の各光学素子の移動について説明する。変倍に際して、第1群(第1～第3光学素子B1, B2, B3)は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第2群(第4、第5光学素子B4, B5)も広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第6光学素子B6及び像面である第14面R14は変倍に際して移動しない。

【0143】そして、広角端から望遠端に向っての変倍

により第3光学素子B3と第4光学素子B4との間隔は狭まり、第5光学素子B5と第6光学素子B6との間は広がる。第6光学素子B6と像面R14との間は変化しない。また、広角端から望遠端に向って第1面R1から像面R14間の全系の光路長は短くなるように変化する。

【0144】本実施形態においては、第2光学素子B2の入射・出射基準軸は平行で同方向に向いており、第5光学素子B5の入射・出射基準軸は平行で逆方向に向いている。

【0145】図20, 21, 22は本実施形態の横収差図である。

【0146】本実施形態において、異なる物体距離に対するフォーカシングは、第2群(第4光学素子B4、第5光学素子B5)又は第3群(第6の光学素子)を移動させて行う。

【0147】本実施形態はズーム光学系の物体側に絞りR1を備え、第2光学素子B2の中で物体像を結像することによって第2光学素子B2及びその後の光学素子の各面の有効径を縮小してX方向に薄い小型の光学素子としている。

【0148】又、第2、第5光学素子B2, B5に設けた複数の反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することによりズーム光学系の中の光束をけられること無く所望の形状に屈曲してZ方向の全長を短縮している。

【0149】更に、第2、第5光学素子B2, B5は1つの部材に複数の表面鏡を一体的に形成しているので、性能へ大きく影響する反射面の位置精度(組立精度)のバラツキ及び狂いの少ないズーム光学系となる。

【0150】又、本実施形態のズーム光学系は複数の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸屈折面で構成する光学素子(共軸光学素子)を適切に組み合わせているので、ズーム光学系を偏心配置した反射面のみで構成する場合に比べて、共軸光学素子に屈折力を分担させて偏心収差の発生を抑えており、又共軸球面屈折面より成る光学素子を使用しているので各収差を容易に補正できる。

【0151】更に、かかる共軸球面屈折面より成る光学素子はその製作が容易である。

【0152】なお、本実施形態においては、第6光学素子B6は屈折レンズなので、第6光学素子B6から出射する基準軸の方向は第6光学素子B6へ入射する基準軸の方向と同方向であるが、出射する基準軸の方向及び角度はこのように限定されるものではなく、例えば第6光学素子B6と像面R14の間にYZ平面に対して45°傾いたミラーを設けて射出する基準軸を紙面に対して垂直方向(X軸方向)に曲げて良い。

【0153】また、光学系に入射する基準軸の方向も、例えば絞りR1の物体側にYZ平面に対して45°傾いたミラーを配置し、紙面に対して垂直方向(X軸方向)から基準軸を入射させても良い。このようにすることにより、カメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

【0154】以上の実施形態のうち、実施形態1~4は、透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成し、光束が1つの屈折面から該透明体の内部へ入射し、該複数の反射面で反射を繰り返して別の屈折面から射出するように構成された光学素子と共軸の屈折面で構成された光学素子とを複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることにより変倍を行うように構成したズーム光学系であり、実施形態5は相互に偏心した複数の表面鏡を一体的に形成し、入射光束が該複数の表面鏡の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子と共軸の屈折面で構成された光学素子とを複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることにより変倍を行うように構成したズーム光学系であった。

【0155】このほか、本発明においては実施形態4の第4光学素子B4又は/及び第5光学素子B5を相互に偏心した複数の表面鏡を一体的に形成し、入射光束が該複数の表面鏡の反射面で反射を繰り返して射出するような光学素子として構成することも可能である。この場合はズーム光学系が軽量になる利点が生じる。

【0156】又、本発明に於て、変倍にあづかる光学素子の移動方向はズーム光学系への入射基準軸方向と平行である必要はなく、撮像装置の構成状況に応じて、例えば第1光学素子の出射基準軸の方向を傾けることによりズーム光学系への入射基準軸の方向と移動光学素子の移動方向が、30°、45°、60°等のある角度をなすように構成することもできる。

【0157】

【発明の効果】本発明は以上の構成により、複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸の屈折面のみからなる光学素子とを複数用い、該複数の光学素子のうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を適切に変化させてズーミングを行うことにより、ズーム光学系全体の小型化を図ると共に、性能へ大きく影響す

る反射面の配置精度(組立精度)のバラツキ及び狂いの少ないズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を達成する。

【0158】更に、絞りをズーム光学系の物体側若しくは最初の光束入射面の近傍に配置すると共に、該ズーム光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成をとることにより、広画面のズーム光学系でありながら、各光学素子の有効径を縮小し、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与えると共に、これらを偏心配置することにより、光学系内の光束がけられること無く所望の形状に屈曲し、ズーム光学系の所定方向の全長を短縮するズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を達成する。

【0159】その他、

(2-1) ズーム光学系の最初の光束入射面の近傍に、その後の基準軸が含まれる平面に対して傾いた反射面を適切に設定することにより、撮影光学系に入射する光束の方向を自由に設定することができ、カメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

(2-2) ズーム光学系の像面の手前で、その前の基準軸が含まれる平面に対して傾いた反射面を適切に設定することにより、撮影光学系から射出する光束の方向を自由に設定することができ、カメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

(2-3) ズーム光学系を複数の反射面を一体的に形成した光学素子と共軸屈折面で構成する光学素子(共軸光学素子)を適切に組み合わせているので、ズーム光学系を偏心配置した反射面のみで構成する場合に比べて、共軸光学素子にパワーを分担させて偏心収差の発生を抑えると共に、各収差の補正が容易になる。

(2-4) 本ズーム光学系では共軸光学素子を組み合わせさせており、共軸屈折面のほとんどが球面で構成されているため、光学素子の製作が容易である。等の少なくとも1つの効果を有するズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を達成する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のズーム光学系の実施形態1のYZ面内の光学断面図

【図2】 実施形態1の横収差図(広角端)

【図3】 実施形態1の横収差図(中間位置)

【図4】 実施形態1の横収差図(望遠端)

【図5】 本発明の実施形態における座標系の説明図

【図6】 本発明のズーム光学系の実施形態2のYZ面内の光学断面図

【図7】 実施形態2の横収差図(広角端)

【図8】 実施形態2の横収差図(中間位置)

【図9】 実施形態2の横収差図(望遠端)

【図10】 本発明のズーム光学系の実施形態3のYZ面内の光学断面図

【図11】 実施形態3の横収差図(広角端)

- 【図12】 実施形態3の横収差図（中間位置）
 【図13】 実施形態3の横収差図（望遠端）
 【図14】 本発明のズーム光学系の実施形態4のYZ面内の光学断面図
 【図15】 実施形態4の横収差図（広角端）
 【図16】 実施形態4の横収差図（中間位置）
 【図17】 実施形態4の横収差図（望遠端）
 【図18】 入射基準軸をX軸に平行に入射させる構成にしたズーム光学系の斜視図
 【図19】 本発明のズーム光学系の実施形態5のYZ面内の光学断面図
 【図20】 実施形態5の横収差図（広角端）
 【図21】 実施形態5の横収差図（中間位置）
 【図22】 実施形態5の横収差図（望遠端）
 【図23】 カセグレン式反射望遠鏡の基本構成図
 【図24】 ミラー光学系における、主光線を光軸から離しケラレを防止する第一の方法の説明図
 【図25】 ミラー光学系における、主光線を光軸から

離しケラレを防止する第二の方法の説明図

【図26】 従来の反射ミラーを用いたズーム光学系の概略図

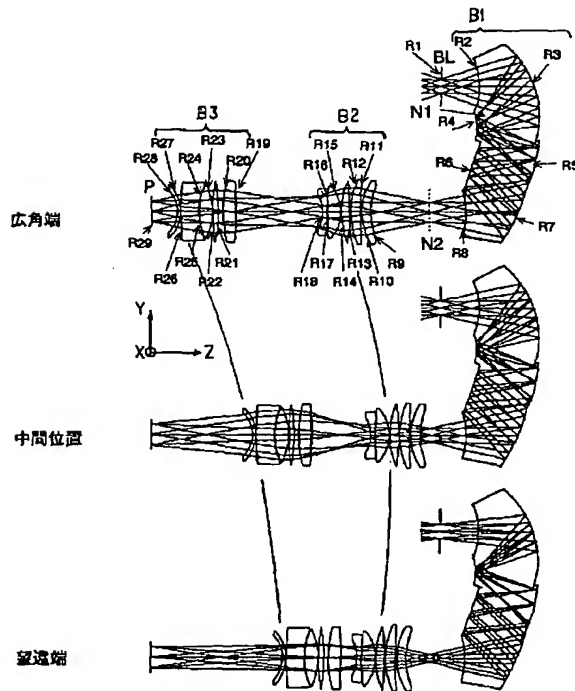
【図27】 プリズム反射面に曲率を持った観察光学系の概略図

【図28】 他のプリズム反射面に曲率を持った観察光学系の概略図

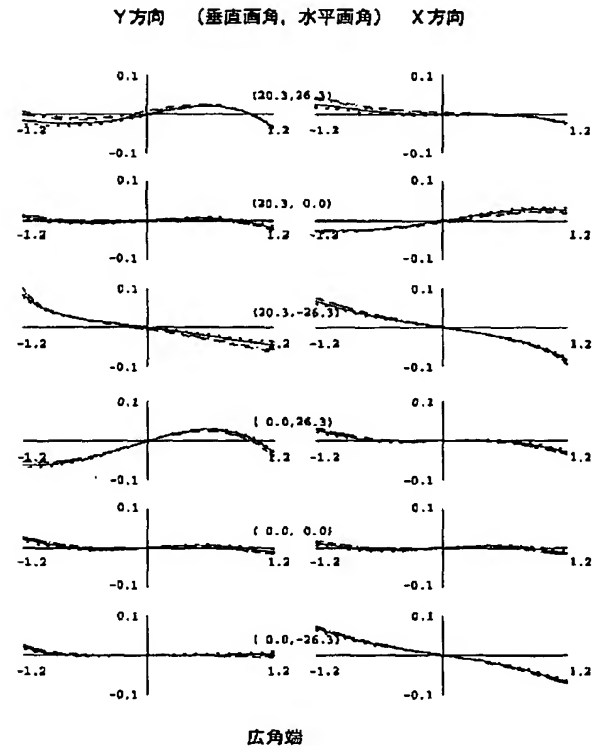
【符号の説明】

$R_i, R_{m,n}$	面
R_i	第i面の曲率半径
B_i	第i光学素子
D_i	基準軸に沿った面間隔
N_{di}	屈折率
ν_{di}	アッペ数
$A_{i,j}$	基準軸
BL	絞り
P	最終像面
N_i	中間結像

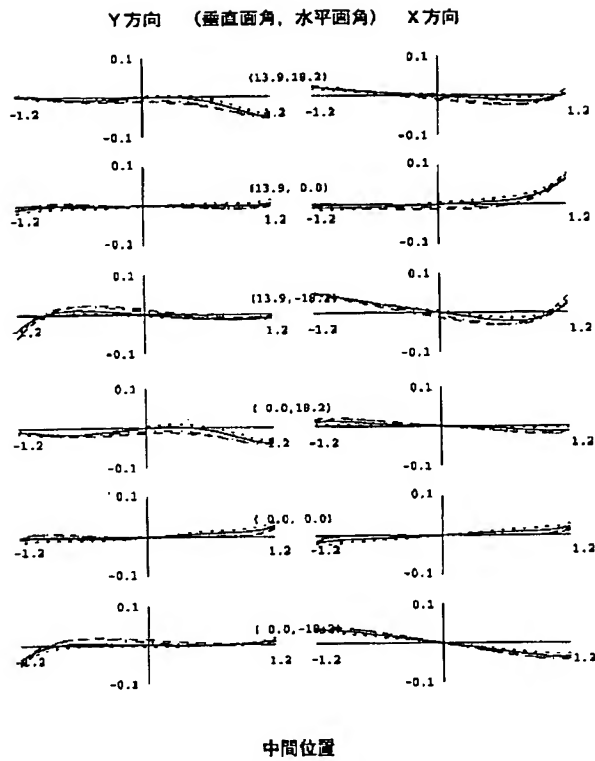
【図1】



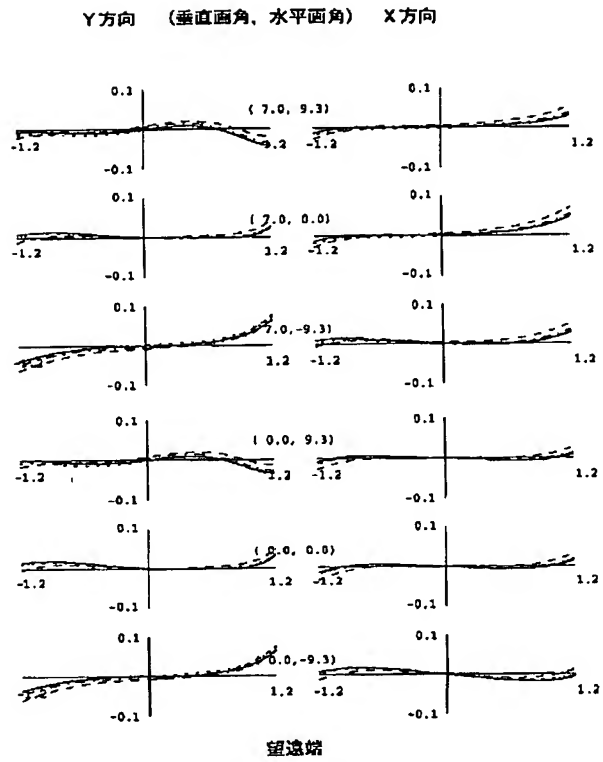
【図2】



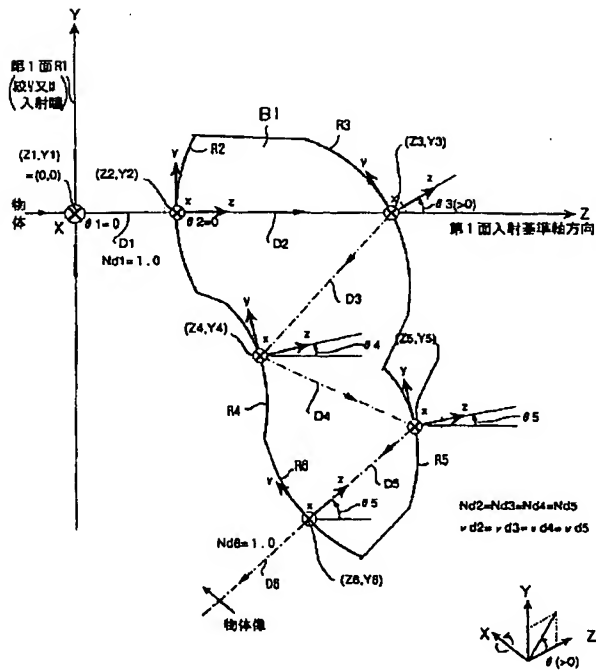
【図3】



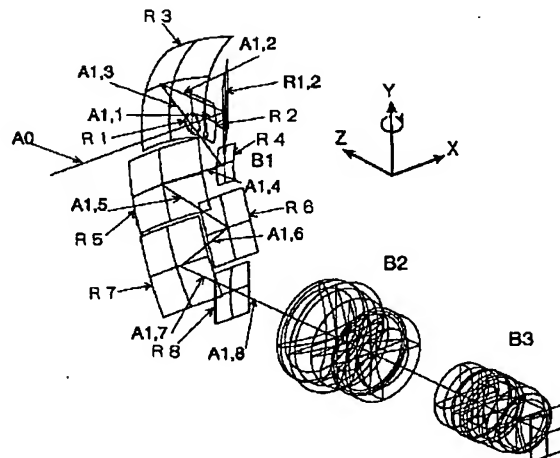
【図4】



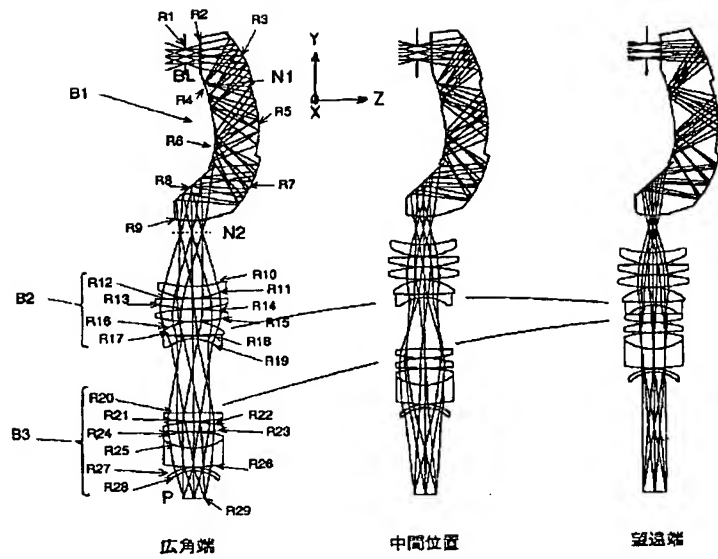
【図5】



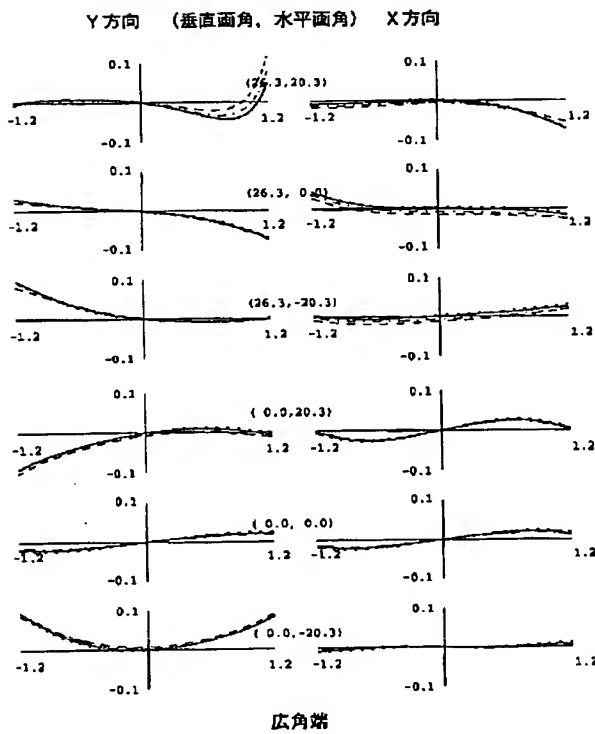
【図18】



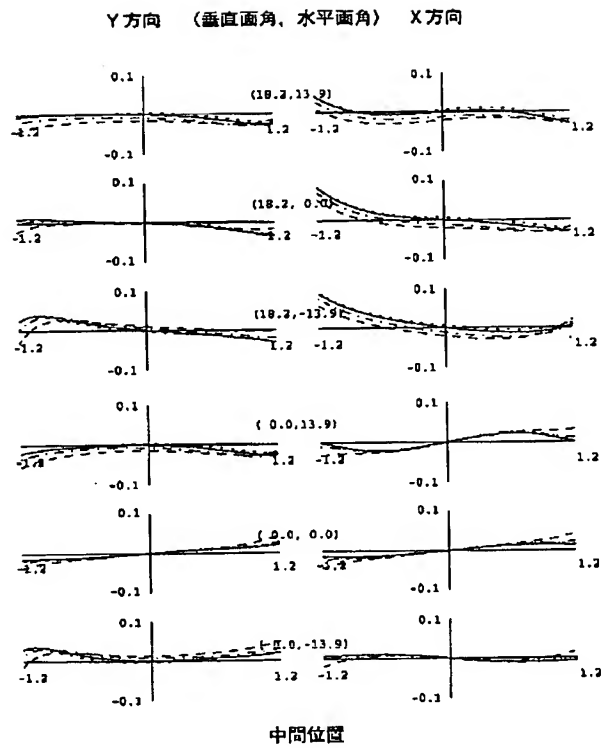
【図6】



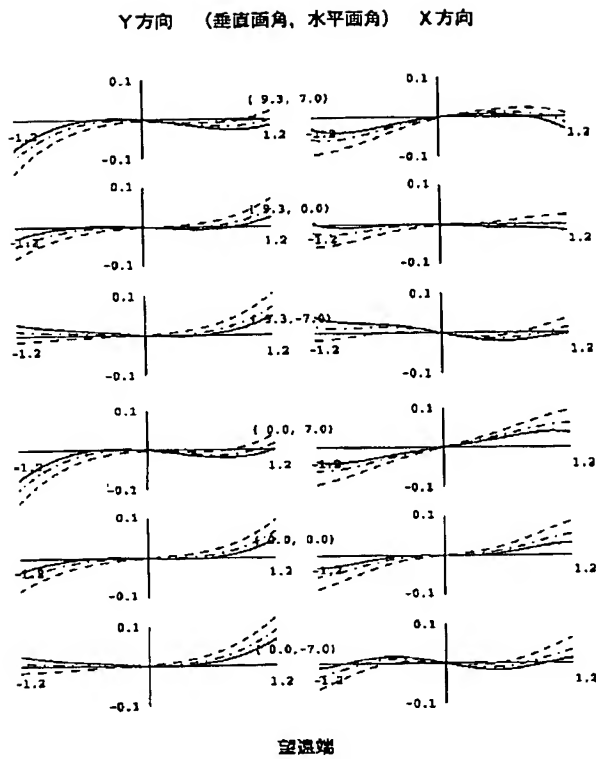
【図7】



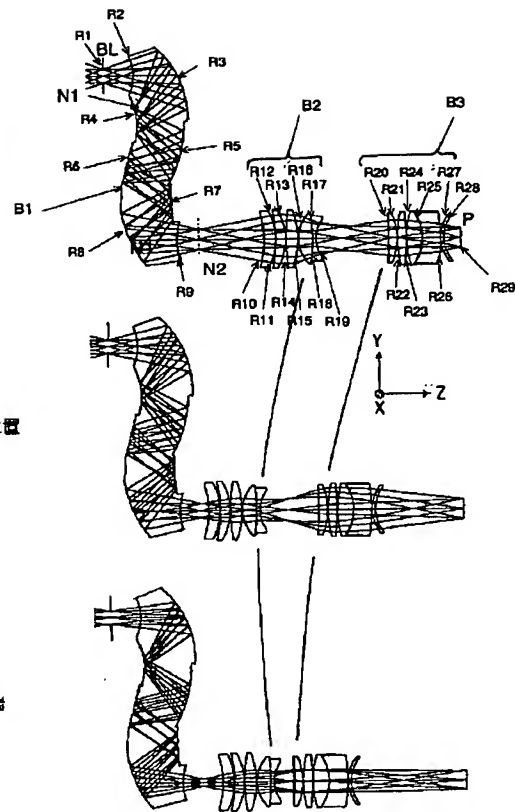
【図8】



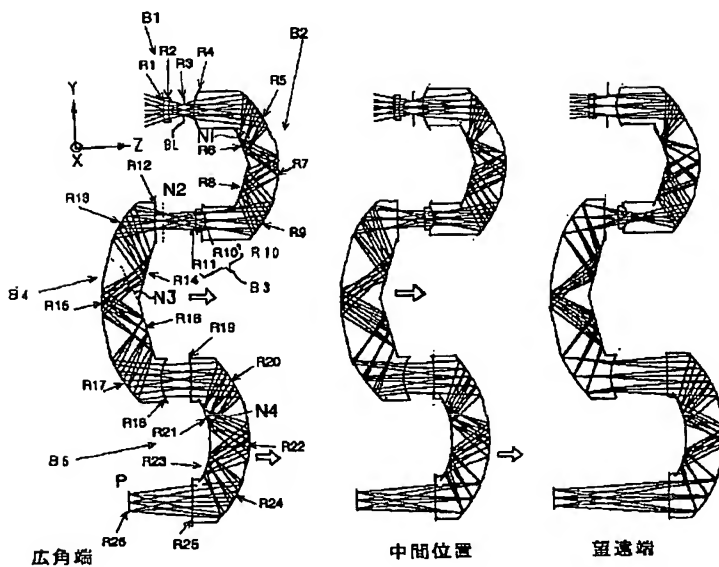
【図9】



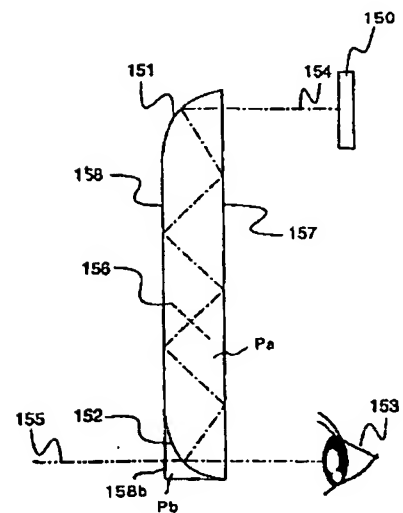
【図10】



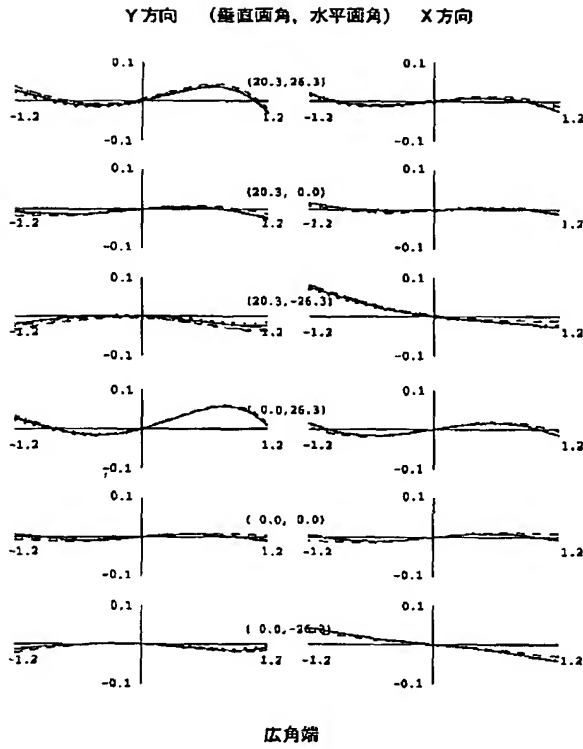
【図14】



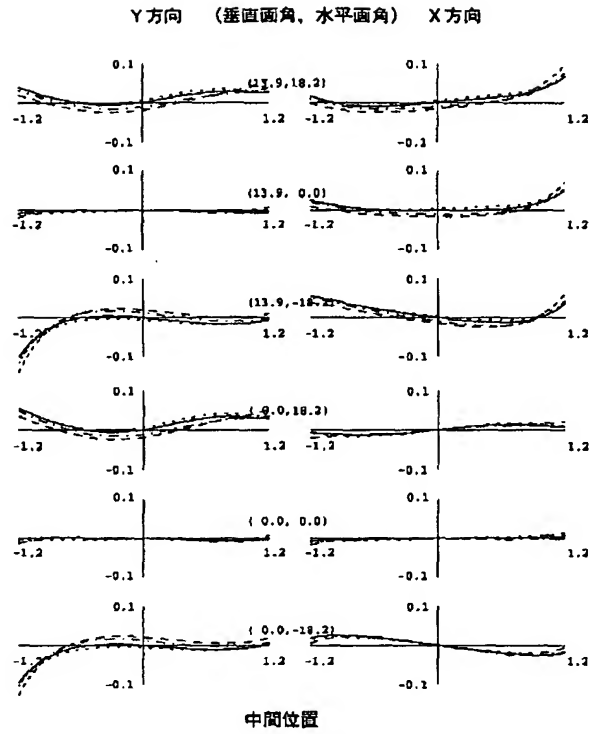
【図28】



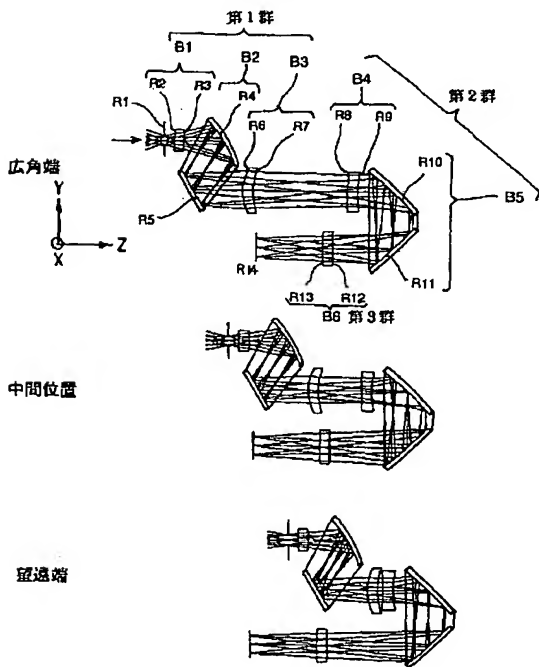
【図11】



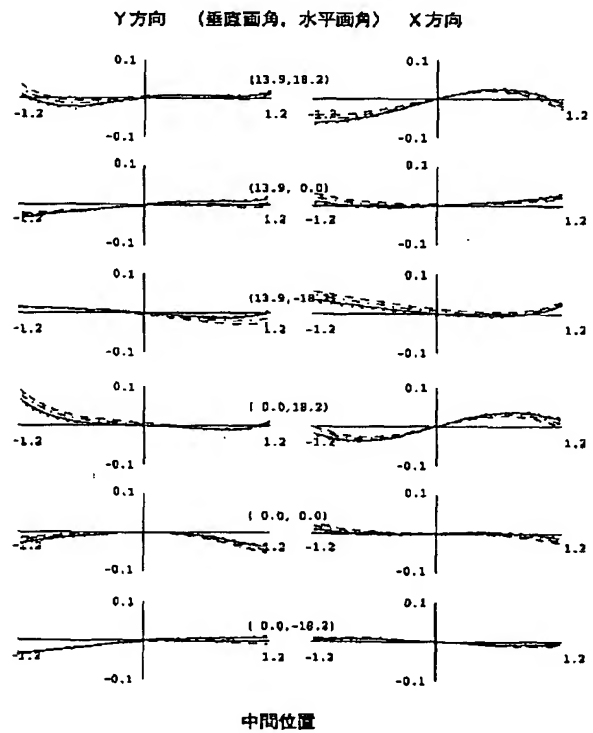
【図12】



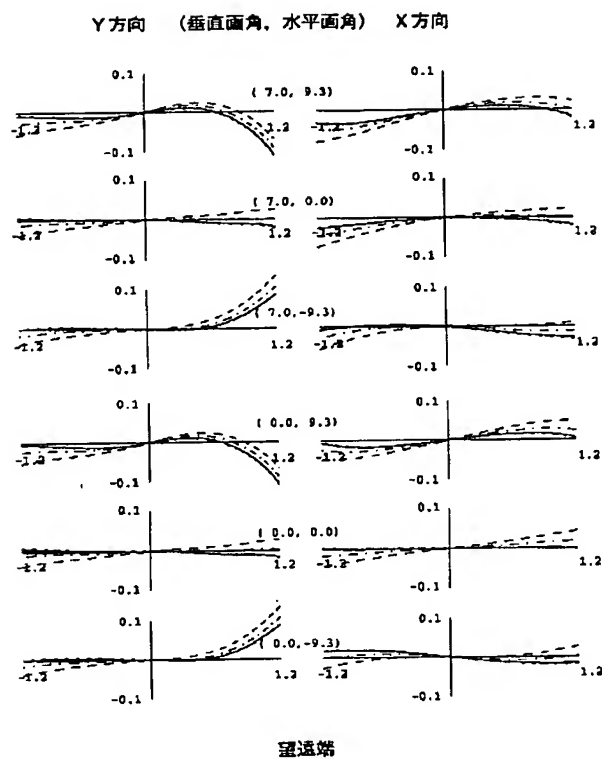
【図19】



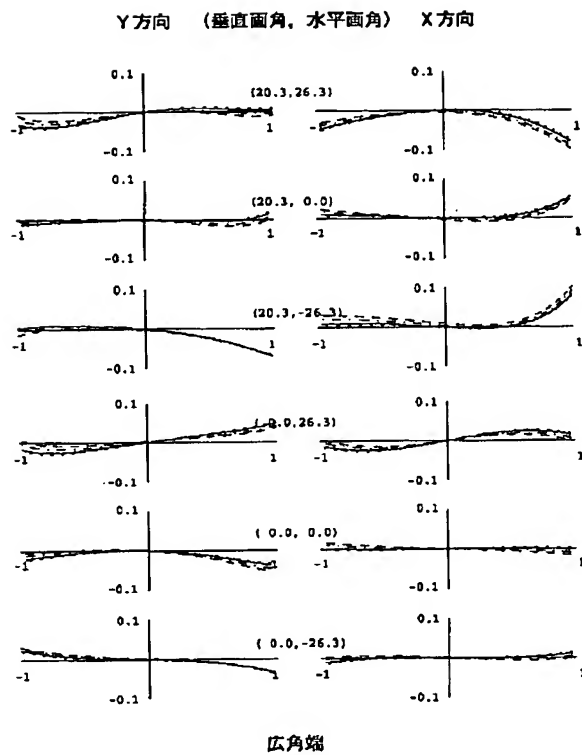
【図16】



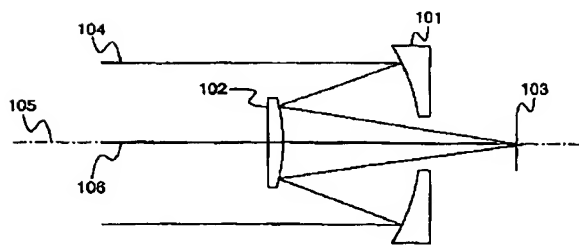
【図13】



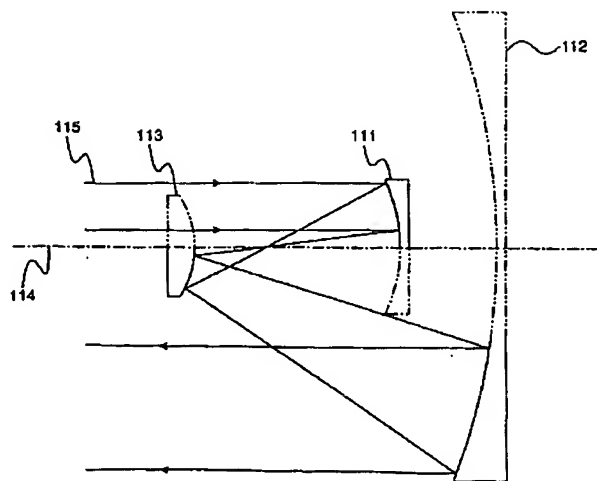
【図15】



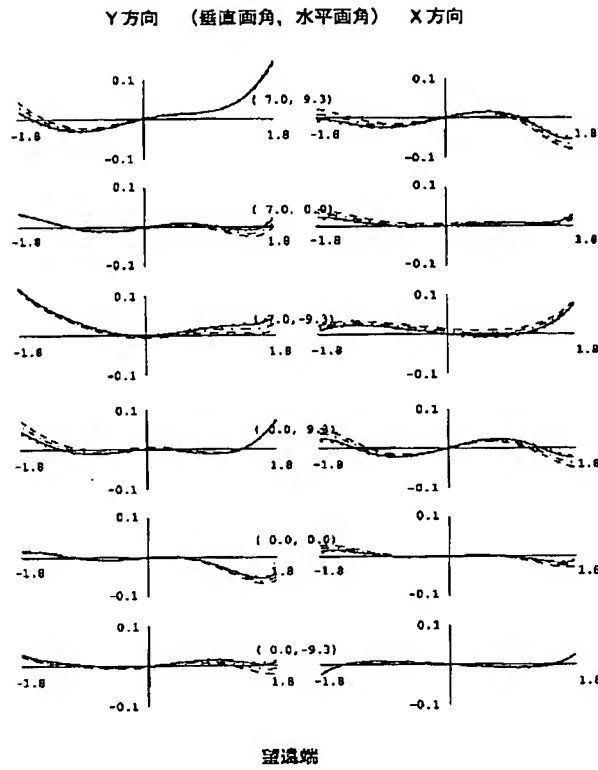
【図23】



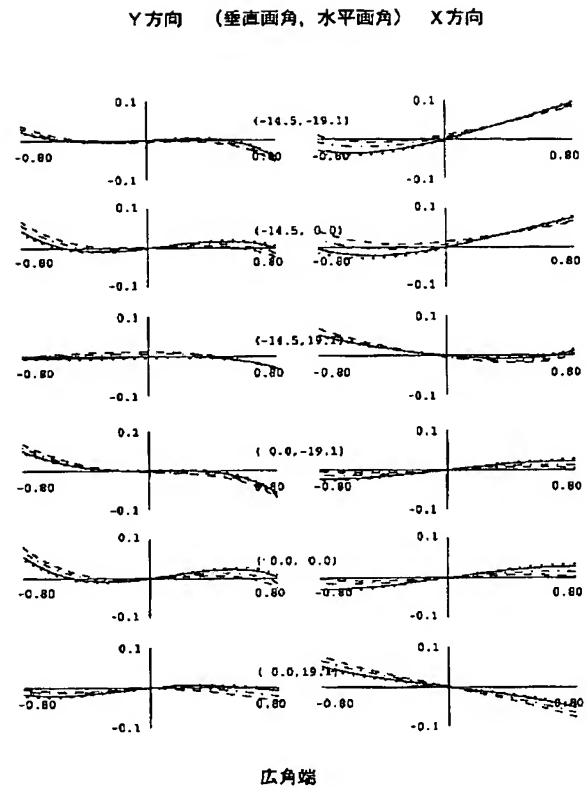
【図24】



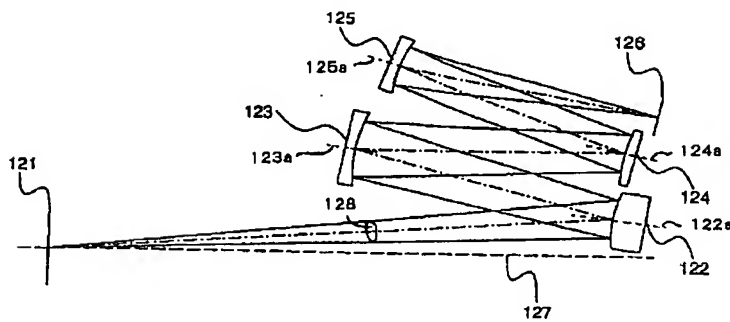
【図17】



【図20】

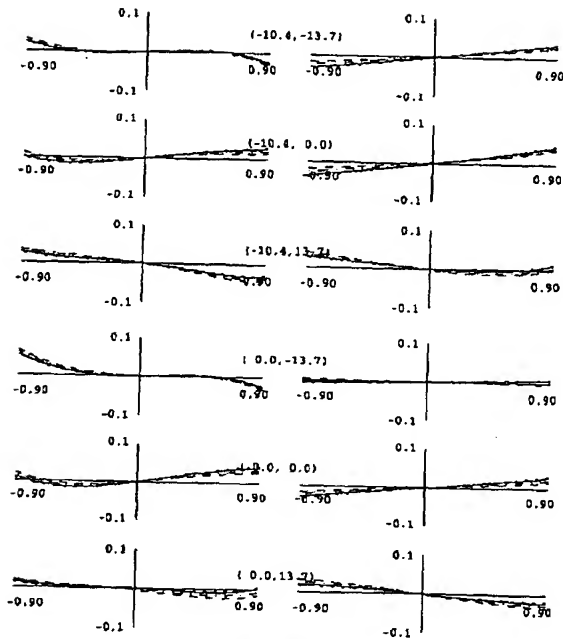


【図25】



【図21】

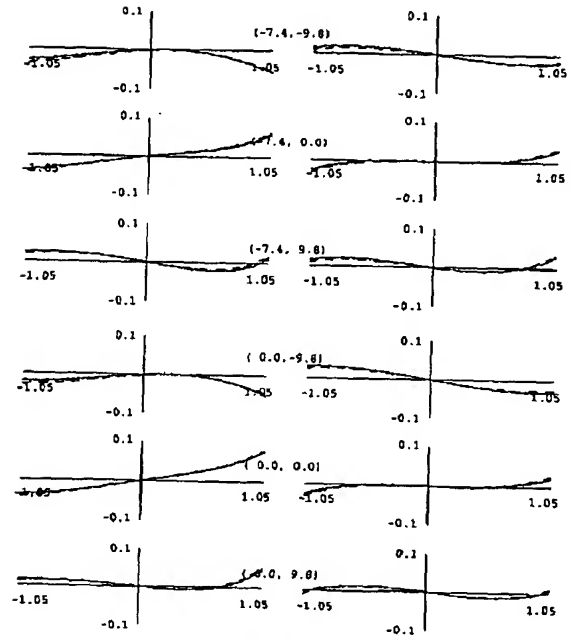
Y方向 (垂直面角, 水平面角) X方向



中間位置

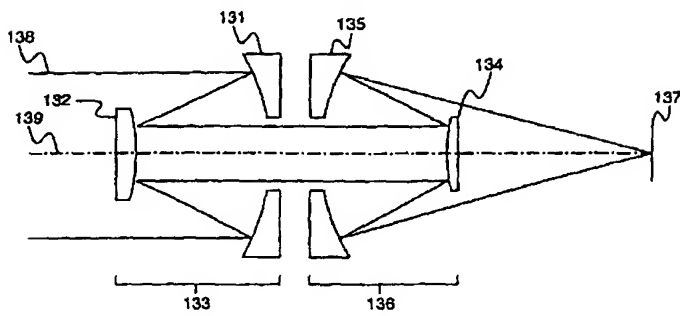
【図22】

Y方向 (垂直面角, 水平面角) X方向



望遠端

【図26】



【図27】

